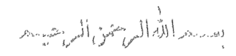
علم المناخ

الأستاذ الدكتور
نعمان شحادة

www.darsafa.net



﴿ أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ يُزْجِي سَحَابًا ثُمَّ يُؤَلِّفُ بَيْنَهُ ثُمَّ يَجْعَلُهُ رُكَامًا فَتَرَى الْوَدْقَ
يَخْرُجُ مِنْ خِلَالِهِ وَيُنَزِّلُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ جِبَالٍ فِيهَا مِنْ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِ
مَنْ يَشَاءُ وَيَصْرِفُهُ عَنْ مَنْ يَشَاءُ يَكَادُ سَنَا بَرْقِهِ يَذْهَبُ بِالْأَبْصَارِ ﴾

صدق الله العظيم

علم المناخ



الأستاذ الدكتور
نعمان شحادة

الطبعة الأولى
2009 م - 1430هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (1650/ 5/ 2008)

551.6

شحادة، نعمان

علم المناخ/ نعمان شحادة._ عمان: دار صفاء للنشر 2008 .

( ) ص

ر . أ: (1650/ 5/ 2008)

الواصفات : / المناخ// الأحوال الجوية/ الطقس

* تم إعداد بيانات الفهرسة الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

حقــوق الطبع محفوظة للناشر

Copyright ©
All rights reserved

الطبعة الأولى

2009 م - 1430 هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع

عمان - شارع الملك حسين - مجمع الفحيص التجاري - تلفاكس4612190 6 962+

ص.ب 922762 عمان - 11192 الاردن

DAR SAFA Publishing - Distributing

Telefax: +962 6 4612190 P.O.Box: 922762 Amman 11192- Jordan

http://www.darsafa.net

E-mail :safa@darsafa.net

ISBN 978-9957-24-386-9 ردمك

شركة مطابع الأرز

05-3610011

الإهداء

إلى والدتي الحبيبة أطال الله في عمرها ووهبها الصحة والعافية

الفهرس

الوحدة الثالثة

البيانات والخرائط المناخية

الوحدة الرابعة

قضايا مناخية معاصرة

قائمة الأشكال

الجداول

المقدمة

تم إعداد هذا المؤلف ليتعدى الدور الكلاسيكي المعروف للكتاب الدراسي الجامعي، الذي لا يعدو كونه مصدراً للمعارف المتعلقة بموضوعه.أما هذا الكتاب، فقد تم إعداده ليكون دليلا لعضو هيئة التدريس يساعده على استخدام استراتيجيات التعلم النشط (Active Learning) في مجال رئيسي من مجالات الجغرافية الطبيعية وهو المناخ. فالمادة العلمية للكتاب لم يتم اختيارها جزافا، بل تم انتقاؤها بشكل دقيق، بحيث تحقق الأهداف التعليمية (Educational Goals) والمخرجات المتوقعة (Expected Outcomes) لمساق في علم المناخ، مخصص لطلبة السنة الثانية من طلبة قسم الجغرافية. وقد تم اقتراح أهداف تعليمية عامة لقسم الجغرافية، الذي سُيدرس فيه هذا الكتاب. وتم اختيار تلك الأهداف من بين الأهداف الرئيسة لعدد كبير من أقسام الجغرافية في الجامعات الأمريكية، وبعض الجامعات الأخرى. وقد اشتقت أهداف خاصة بمساق علم المناخ الذي سيتم استخدام هذا الكتاب فيه. وقد تم بعد ذلك اختيار المحتوى العلمي الذي يخدم كل هدف من أهداف المساق.

إن إدراك المؤلف إلى حاجة أعضاء هيئة التدريس في الجامعات العربية، لمن يأخذ بيدهم في مجالات التعلم النشط والتقويم الصفي، بغية ضمان الجودة للعملية التعليمية على مستوى القسم العلمي، هو الذي دفعه لتأليف هذا الكتاب.

ويمتاز هذا الكتاب في أنه يساعد عضو هيئة التدريس في المجالات التالية:

- ربط المحتوى العلمي بأهداف المساق ومخرجاته التعليمية.
- تعزيز مشاركة الطالب في العملية التعليمية عن طريق تعزيز مشاركاته الصفية.
- تقديم تكليفات (Assignments) تم اختيارها بشكل جيد، وربط كل تكليف منها بمخرج تعليمي محدد، بحيث لا تستخدم المادة العلمية الموجودة في الكتاب وحدها لتحقيق المخرجات المتوقعة للمساق.

- تنمية مهارات الطالب في استخدام التكنولوجيا في العملية التعليمية.
- توفير بعض معايير الأداء (Rubrics) التي تستخدم في تقويم التكليفات والمشاركات الصفية للطلبة.
- تعزيز الوعي البيئي (Environmental Awareness) للطلبة عن طريق معالجة القضايا البيئية المعاصرة المرتبطة بالمناخ كالاحتباس الحراري، والتغير المناخي، والتلوث البيئي، وغيرها.

ولما كان الكثير من أنشطة التعلم النشط والتقويم الصفي مرتبطة بالظروف المحلية الخاصة المحيطة بتدريس كل مساق من المساقات، فإن الإضافات التي تمليها تلك الظروف أمر مرحب به كثيرا، حيث أنها ستعزز من فرص تعلم الطلبة.

وإذا كان أي عمل لا يخلو من بعض العيوب، فإن المؤلف يستميح القارئ عذراً فيما قد يتضمنه هذا المؤلف من هنات، فما هو إلا محاولة في تحديث تعليم مادة المناخ، والله من وراء القصد.

المؤلف

تمهيد

تُعد جودة العملية التعليمية على مستوى المساق الدراسي حجر الأساس الذي يبنى عليه الهيكل العام لضمان الجودة في العملية التعليمية(Quality Assurance) على مستوى الجامعة. ومما لا شك فيه، أن تحقيق الجودة في العملية التعليمية على مستوى المساق الدراسي تعتمد بشكل أساسي على هجر النمط التقليدي للتدريس (Instruction Paradigm) الذي يقوم عضو هيئة التدريس فيه بتزويد الطالب بالمعلومات العلمية التي تتعلق بتخصصه، وما على الطالب لضمان النجاح في المساق سوى حفظ تلك المعلومات، واجترارها في الامتحان. أي أن دور الطالب في هذه الحالة دور سلبي، إذ أن مهمة تعلمه تقع على عاتق عضو هيئة التدريس وحده، وهو لا يشارك فيها من قريب أو من بعيد. إن النمط التقليدي في التدريس لا ينمي لدى الطالب سوى مهارات حفظ المعلومات والتنافس عل تحقيق أعلى الدرجات.

إن نمط التدريس التقليدي نمط شديد الخطورة، فدورة المعرفة في هذه الأيام لا تتعدى ثلاث إلى أربع سنوات، كما أن الطلبة الذين يتم اتباع ذلك النمط في تدريسهم، يشكلون عنصرا سلبيا في المجتمع، ولا يتفاعلون مع قضايا أمتهم ومجتمعهم.

لقد تغير نمط التعليم في الجامعات الحديثة تغيرا جذريا، وتم هجر النمط التقليدي في التدريس إلى أسلوب حديث يعرف بنمط التعلم (Learning Paradigm)، يقوم على تنميه مهارات الطالب في مجال البحث عن المعلومات، والحصول عليها، وفي مجالات أخرى كالتفكير الناقد (Critical Thinking)، والإتصال الفعال (Effective Communication) واستخدام التكنولوجيا، وتقويم الذات (Self-Assessment)، وتقويم الغير (Peer Evaluation) وغيرها.

ولم تعد المساقات تقتصر على تزويد الطالب بكل أنواع المعلومات المتعلقة

بموضوعات المساق، بل أصبح للمساق الدراسي الحديث أهداف تعليمية، ومخرجات متوقعة (Expected Outcomes) يمكن تقويمها، وأصبح التقويم المتواصل (Continuous Assessment) جزءا لا يتجزأ من استراتيجيات التعلم النشط (Active Learning) المتبع في المساق[1].

إن هذا النمط من المساقات ما زال غريبا عن جامعاتنا العربية، وما زال أعضاء هيئة التدريس بحاجة إلى من يأخذ بيدهم في هذا المجال. ولهذا فإن المؤلف قد راعى ـ عند إعداد هذا الكتاب ـ أن يتجاوز دور الكتاب الكلاسيكي، وذلك بمساعدة عضو هيئة التدريس في اتباع استراتيجيات التعلم النشط، وفي إشراك الطالب في عملية تعلمه، عن طريق التكليفات المناسبة والمخطط لها تخطيطا جيدا، وعن طريق تنمية مهارات الطلبة في مجالات البحث عن المعلومات، والاتصال الفعال، وفي مجال التعلم التعاوني (Cooperative Learning) وغير ذلك.

١. أهداف المساق ومخرجاته التعليمية Course Goals And Outcomes:

تخلت الجامعات العالمية المعاصرة عن النمط التقليدي للخطط الدراسية التي تركز بشكل رئيسي على تقديم شتى أنواع المعارف للطلبة (content driven curricula)، وأصبح النمط السائد من الخطط الدراسية الحديثة هو الخطة التكاملية (Integrated Curriculum) المبنية على أهداف تربوية ومخرجات تعليمية محددة، تسعى تلك الخطة لتحقيقها، ولا تتضمن من المعارف سوى ما يخدم تلك الأهداف والمخرجات. ولا تتضمن الخطة الدراسية التكاملية لأي قسم علمي سوى المساقات التي تخدم أهداف تلك الخطة وتساعد على تحقيقها.

أما المساقات الدراسية الحديثة التي أصبحت تُعرف بمساقات التعلم (Learning Courses) فلكل منها أهداف تعليمية ومخرجات متوقعة ومرتبطة بالخطة الدراسية للقسم، بل ولكل وحدة من وحدات المساق أهداف ومخرجات خاصة بها،

---

(١) لم يعد يشترط أن تكون المخرجات المتوقعة لأي مساق مخرجات يمكن قياسها. إذ تم التخلي عن ذلك الشرط الذي يصعب تحقيقه منذ بضع سنوات، وأصبحت أساليب التقويم النوعية (Qualitative Assessment) من أكثر أساليب التقويم شيوعا.

ومرتبطة بأهداف المساق ومخرجاته. وكلما كان المحتوى العلمي منوعا، ومتعددة المصادر، ويشترك الطالب في جمعه وتقديمه، كلما كان ذلك أقرب إلى اتباع استراتيجيات التعلم النشط.

ولما كانت معظم أقسام الجغرافية في الجامعات المعاصرة تشترك في بعض الأهداف الرئيسة فإن هذا الكتاب يخدم الأهداف التالية لأي قسم للجغرافية:

(أ) تنمية المهارات التخصصية للطلبة في مجال الجغرافية.

(ب) تزويد الطالب بالمعارف الجغرافية التخصصية[1].

(ج) تعزيز المهارات العامة للطالب (Transferable Skills) كالتفكير الناقد، والاتصال الفعال، والمهارات الكمية، واستخدام التكنولوجيا، وغيرها[2].

(د) تنمية وعي الطالب بالقضايا البيئية المعاصرة كالاحتباس الحراري، والتغير المناخي والتلوث الجوي، وغيرها.

(هـ) تعزيز الاتجاهات في مجالات التعلم التعاوني وتقويم الآخرين.

أما الأهداف الرئيسية للمساق، فهي:

١- تزويد الطلبة بالمعارف التخصصية في مجال علم المناخ العام.

٢- تزويد الطلبة بالمعارف التخصصية في مجال علم المناخ السينوبتيكي.

٣- تنمية مهارات الطلبة في مجالي جمع البيانات المناخية وتحليلها

٤- تنمية مهارات الطلبة في مجالي إعداد الرسومات والخرائط المناخية وتحليلها.

٥- تزويد الطلبة بالمعارف المناخية التخصصية المتعلقة بالقضايا المناخية الرئيسية المعاصرة.

٦- تعزيز مهارات الطالب في إعداد البحوث العلمية في مجال علم المناخ.

---

(١) لقد تم تقديم الهدف الأول الخاص بتنمية المهارات التخصصية للطلبة على الهدف الثاني الخاص بتزويدهم بالمعارف التخصصية لبيان الأهمية الكبيرة للهدف الأول.

(٢) تبدأ تنمية هذه المهارات بشكل عام في برنامج التعليم الجامعي العام. أما بعد أن ينتقل الطلبة إلى الأقسام العلمية فيتم تنمية هذه المهارات في مجالات تخصصاتهم.

٧- تعزيز مهارات الطالب في مجالي التفكير الناقد والاتصال الفعال.

٨- تعزيز مهارات الطالب في مجال استخدام التكنولوجيا في مجال دراسة المناخ.

٩- تعزيز الاتجاهات الحميدة للطالب نحو تلوث الغلاف الجوي في دراسة المناخ.

١٠- تعزيز الاتجاهات الحميدة للطالب نحو الأخطار البيئية.

١١- تعزيز العمل الجماعي في مجال عمل التكليفات والبحوث المناخية.

١٢- تعزيز القدرة على تقويم الآخرين.

٢. ارتباط أهداف المساق بالأهداف العامة للقسم:

الأصل في أهداف كل مساق من المساقات التي يطرحها القسم أن تكون مرتبطة بأهداف القسم. وإذا كان من غير الممكن لأهداف المساق أن تكون مرتبطة بكل هدف من أهداف القسم، فإن من الضروري أن تكون مرتبطة ببعضها. أما بالنسبة إلى درجة الارتباط فهي تكون أقوى مع بعض الأهداف وضعيفة مع أهداف أخرى. وغالبا ما تكون المساقات العامة التي تعطى في السنة الأولى كالجغرافية الطبيعية والجغرافية البشرية ذات ارتباط بعدد كبير من أهداف القسم، ولكن درجة ارتباطها مع أي منها، تكون في الغالب ضعيفة. أما المساقات التخصصية فتكون مرتبطة بعدد أقل من الأهداف، ولكن درجة ارتباطها مع بعض تلك الأهداف تكون قوية.

ولتحقيق التكامل بين خطة القسم والخطة العامة للجامعة المتمثلة في برنامج التعليم الجامعي العام الذي يطرح مساقات تعمل على تعزيز المهارات العامة للطلبة، كالمهارات الكمية ومهارات استخدام التكنولوجيا، والتفكير الناقد، ومهارات الاتصال الفعال، وتنمي اتجاهاتهم الحميدة نحو الدين، والتراث، والبيئة، والمجتمع، فإن المفروض أن تقوم المساقات التخصصية بتعزيز تلك المهارات والاتجاهات أيضا. ولهذا فإن الأهداف السادس والسابع والثامن والتاسع والعاشر والحادي عشر والثاني عشر من أهداف مساق علم المناخ تعمل على تحقيق ذلك.

ويبين الجدول (١) ارتباط أهداف مساق علم المناخ مع الأهداف الرئيسية لقسم الجغرافية.

الجدول (١) ارتباط أهداف مساق "مبادئ المناخ" بأهداف قسم الجغرافية

الرقم	الهدف التربوي للقسم	أهداف المساق
أ	تنمية المهارات التخصصية للطلبة في مجال الجغرافية	تنمية مهارات الطلبة في مجالي جمع البيانات المناخية وتحليلها
		تنمية مهارات الطلبة في مجالي إعداد الجداول والرسومات والخرائط المناخية وتحليلها
		تعزيز مهارات الطالب في إعداد البحوث العلمية في مجال علم المناخ.
		تعزيز مهارات الطالب في مجال استخدام التكنولوجيا.
ب	تزويد الطالب بالمعارف التخصصية في مجال الجغرافية	تزويد الطلبة بالمعارف التخصصية المتعلقة بعناصر المناخ
		تزويد الطلبة بالمعارف التخصصية في مجال علم المناخ العام
		تزويد الطلبة بالمعارف التخصصية في مجال المناخ الشمولي
		تزويد الطلبة بالمعارف المناخية التخصصية المتعلقة بالقضايا المناخية الرئيسية المعاصرة.
جـ	تعزيز المهارات العامة للطالب	تعزيز مهارات الطالب في مجال الاتصال الفعال
د	تنمية وعي الطالب للقضايا البيئية المعاصرة	تعزيز الاتجاهات الحميدة للطالب لحو تلوث الغلاف الجوي
		تعزيز الاتجاهات الحميدة للطالب لحو الكوارث البيئية
هـ	تعزيز الاتجاهات في مجالات التعلم التعاوني	تعزيز العمل الجماعي
		تعزيز القدرة على تقويم الآخرين

٣. التكليفات (Assignments)

تُعد التكليفات جزءا أساسيا من المحتوى العلمي للمساق، وهي تعزز استخدام عضو هيئة التدريس لاستراتيجيات التعلم الفعال، وتوسع المحتوى العلمي للكتاب، ليتعدى حدود المادة العلمية التي يتضمنها. ولما كانت هذه التكليفات تعزز من مشاركة الطالب في المساق، فإنها تساهم في جعل الطالب محور العملية التعليمية، وتعزز مهاراته في البحث العلمي وفي استخدام التكنولوجيا في عملية التعلم، كما تعزز مهارات الإتصال، والتعلم الجماعي، خاصة إذا كانت فرق من الطلبة تقوم بعمل التكليف، وتشترك في تقديمه.

ولكي تحقق التكليفات الهدف المرجو منها يجب أن ينظر إليها عضو هيئة التدريس باهتمام كبير، وأن يخصص لها درجات مناسبة من الدرجة النهائية للمساق، حتى يولد عند الطلبة حوافز للقيام بتلك التكليفات بالجدية المطلوبة. ومن الأمور الأخرى التي تجعل الطلبة يقومون بتلك التكليفات بجدية هو اهتمام عضو هيئة التدريس بتقييم تلك التكليفات في مواعيدها ومناقشة الطلبة في ذلك، وإشراكهم في عملية التقييم.

ويتضمن هذا الكتاب عددا من التكليفات موزعة على الأهداف الرئيسة للمساق، ولكن هذا لا يمنع من إضافة تكليفات جديدة إليها خاصة بعد أن يقوم عضو هيئة التدريس باشتقاق المخرجات التعليمية التفصيلية للمساق.

ولزيادة مشاركة الطالب في العملية التعليمية لا يقتصر المحتوى العلمي للمساق على المادة العلمية للكتاب فقط، بل إن بعض المراجع المتوفرة على الانترنيت يتم استخدامها.

٤. معايير الأداء : (RUBRICS)

توفر معايير الأداء وسيلة حديثة يتم استخدامها بشكل واسع في الكثير من الجامعات الأمريكية لتقويم التكليفات التي يقوم بها الطلبة بشكل موضوعي. ويتكون معيار الأداء الجيد من معايير محددة (Criteria) لتقويم مستويات

الأداء المختلفة (Levels of Achievement)، كالأداء الضعيف والمتوسط والجيد (جدول٢). وتعد معايير الأداء من أفضل أدوات التقويم، خاصة وأن معيار الأداء يبين للطالب بشكل واضح مستوى الأداء المطلوب منه للحصول على تقدير معين. وأفضل أنواع معايير الأداء هي التي يتم توزيعها على الطلبة في بداية الفصل، إذ أنها تبين لهم حينئذ ما هو مطلوب منهم للحصول على تقدير معين، وتشكل لهم حافزا للدراسة.

ويتضمن الملحق (١) معيارين من معايير الأداء في مجالي إعداد البحوث العلمية، وتقديم التكليفات للطلبة.

جدول (٢) نموذج معيار أداء

	مستويات الأداء المختلفة					علامة الطالب على عناصرمعيار الأداء
	ممتاز	جيد جدا	جيد	مقبول	ضعيف	
	٥	٤	٣	٢	١	
عناصر معيار الأداء						
	معايير تقويم مستويات الأداء المختلفة					

٥. التقويم الصفي: Classroom Assessment

يتم التقويم في الجامعات الحديثة على مستويات مختلفة، فعلى مستوى الجامعة يوظف التقويم للتأكد من مدى نجاح الجامعة في تحقيق أهدافها، كما يستخدم من قبل الوحدات الأكاديمية والإدارية للجامعة لنفس الغرض. وبالرغم من أهمية عملية التقويم على جميع المستويات، إلا أن التقويم الصفي يبقى هو الأكثر أهمية، لارتباطه المباشر بتطوير العملية التعليمية، ولأن قطبي الرحى فيه هو الطالب

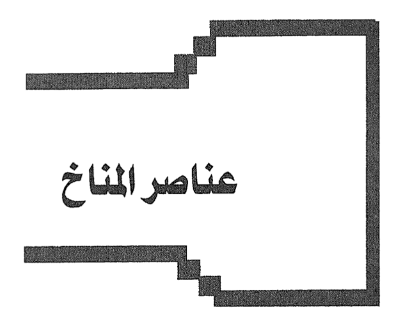
والأستاذ. وبالرغم من تعدد أساليب التقويم الصفي، إلا أن لكل منها ميزات وحسنات.

ولعل أهم المبادئ التي يجب مراعاتها عند ممارسة التقويم الصفي هي:

- عدم إرهاق الطلبة بعمليات التقويم الكثيرة، واختيار النشاطات المناسبة والمهمة فقط.
- استخدام التكليفات والامتحانات وغيرها من النشاطات الصفية التي يقوم بها الطلبة، إذ أن ذلك يضمن وجود حوافز لدى الطلبة للقيام بتلك النشاطات. ويشترط في هذه الحالة تعديل تلك التكليفات والامتحانات بحيث يمكن استخدامها في عملية التقويم، وليس لتقييم مدى استيعاب الطالب للمحتوى العلمي للمساق.
- أن تكون عملية التقويم متواصلة.
- استخدام أساليب التقويم الرسمي وغير الرسمي.
- إشراك الطلبة في عملية التقويم.
- استخدام نتائج التقويم في تعديل المحتوى العلمي للمساق، أو أساليب التدريس، أو غير ذلك، بحيث يشعر الطلبة أن عمليات التقويم مفيدة لهم. ويتضمن الملحق (١) استبانة لتقويم مدى نجاح تطبيق استراتيجيات التعلم النشط في تدريس المساق يوزعها عضو هيئة التدريس على الطلبة في منتصف الفصل الدراسي ليستفيد منها في تعديل أساليبه في التعليم والتقويم خلال النصف الثاني من المساق.
- تقديم تقرير إلى مجلس القسم العلمي عن نتائج عمليات التقويم في نهاية الفصل الدراسي.



الوحدة الأولى



عناصر المناخ

الوحدة الأولى

عناصر المناخ

المخرجات التعليمية للوحدة الأولى

يتوقع أن يكون الطالب قادرا بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة على القيام بما يلي:

١- يوضح خصائص الغلاف الجوي القياسي من حيث طبيعة الغازات التي تدخل في تركيبه، وتباين خصائصه أفقيا ورأسيا.

٢- يشرح العناصر الرئيسية للمناخ: كالإشعاع الشمسي، ودرجة الحرارة، والضغط الجوي، والرياح، والرطوبة وغيرها، من حيث طبيعة كل منها، وخصائصه المميزة وتباينه المكاني والزماني.

٣- يحلل العلاقات المتبادلة بين عناصر المناخ الرئيسية.

٤- يفسر بعض الظواهر الجوية المحلية كنسيم البر والبحر، ونسيم الجبل والوادي والإقليمية كالرياح الموسمية، والعالمية كالدورة الهيدرولوجية، غيرها.

٥- يستخدم التكنولوجيا في البحث عن المعلومات الخاصة بموضوعات هذه الوحدة.

٦- يساهم بشكل فعال في العمل الجماعي والتعلم التعاوني من خلال مجموعات التركيز والنقاشات الصفية وغيرها.

٧- يستخدم التكنولوجيا في عرض التكليفات التي يقوم بها.

٨- يقدم التكليفات التي يقوم بها في قاعة الدراسة بلغة سليمة، وبأسلوب سلس، ويتناقش مع زملائه، ويؤمن بالرأي الآخر.

٩- يقيم الآثار البيئية للأخطارالمناخية كالعواصف الثلجية، والعواصف الرعدية والبردية، وموجات الحر، والصقيع، والعواصف الرملية، وغيرها.

كلمة "مناخ" Climate عبارة عن مصطلح علمي يدل على الخصائص العامة المميزة لحالة الجو في مكان معين. أما مصطلح "الطقس" Weather فيدل على حالة الجو في ذلك المكان خلال فترة زمنية قصيرة كاليوم أو الأسبوع. فالطقس قد يكون خلال أحد الأيام طقس بارد ماطر، والرياح شمالية غربية معتدلة السرعة، أو قد يكون مشمسا حارا جافا، والرياح هادئة. وقد يسيطر على الطقس تعرض المكان لمنخفض جوي قوي تصحبه كتلة هوائية شديدة البرودة، وتتساقط خلال ساعات النهار الثلوج.

أما مناخ المكان فلا يصف حالة الجو في يوم معين، بل الخصائص العامة المميزة لحالة الجو في ذلك المكان خلال فترة طويلة من الزمن. فالشتاء في مدينة عمان معتدل دافئ ومطير، بينما الصيف حار جاف. والصيف في مدينة أبوظبي شديدة الحرارة والرطوبة، بينما فصل الشتاء دافئ قليل الامطار. ولكن هذا لا يمنع من كون بعض أيام الشتاء تكون ممطرة والرياح فيها قوية.

(٤) عناصر المناخ

أهم عناصر المناخ هي:

١. الإشعاع الشمسي
٢. درجة الحرارة
٣. الضغط الجوي
٤. الرياح
٥. الرطوبة
٦. التبخر
٧. التكاثف
٨. الهطول

وتتضمن عناصر المناخ بالإضافة إلى العناصر السابقة عناصر أخرى أكثر تقلبا وتغيرا مثل الكتل الهوائية والجبهات، والمنخفضات الجوية، وحالات عدم الاستقرار الجوي، والأعاصير وغير ذلك. وسنستعرض فيما يلي العناصر الرئيسة للمناخ، بعد استعراض بعض الخصائص الرئيسة للغلاف الجوي.

الفصل الأول

الغلاف الجوي

لم يكن يوجد للأرض – أثناء المرحلة الأولى لنشأتها – قبل حوالي أربعة أو خمسة بلايين سنة غلاف جوي خاص بها. فقد كان الارتفاع الشديد لدرجة حرارة سطح الأرض أثناء تلك المرحلة يحول دون اقتراب بعض الغازات الخفيفة التي كانت تسبح بعيداً في الفضاء. وقد شهدت الأرض بعد ذلك نشاطاً بركانياً عنيفاً استمر لحقبة طويلة من الزمن. ويجمع الباحثون بأن ذلك النشاط البركاني كان السبب المباشر في تكوّن أول غلاف جوي للأرض. فقد كان يخرج من تلك البراكين كميات هائلة من الغازات المختلفة خاصة بخار الماء (H_2O) والنيتروجين (N_2) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان والكبريت. وبالتالي فإن أول غلاف جوي للأرض كان يتكون من تلك الغازات، وكان غنياً بشكل رئيس من تلك الغازات خاصة بخار الماء وثاني أكسيد الكربون.

وقد ساعد انخفاض درجة حرارة سطح الأرض بعد تكونها بحوالي بليوني سنة في اقتراب تلك الغازات وفي تكاثف كميات هائلة من بخار الماء وسقوط أمطار غزيرة متواصلة لحقبة طويلة من الزمن. وقد تجمعت مياه تلك الأمطار في المناطق المنخفضة من سطح الأرض مكونة البحار والمحيطات. وقد عملت تلك الأمطار بدورها على خفض درجة حرارة سطح الأرض من جديد كما أنها عملت على ذوبان كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون من سطح الأرض ونقلتها إلى البحار والمحيطات. وقد عملت تلك الأمطار أيضاً على تخليص الغلاف الجوي من الجزء الأكبر من ثاني أكسيد الكربون الذي كان موجوداً فيه بوفرة ومن بعض المركبات الأخرى مثل الكبريت وغيره.

وقد كان الغلاف الجوي حتى تلك المرحلة خالياً من الأكسجين تماماً. وإذا كانت أشعة الشمس فوق البنفسجية قد عملت على تحلل جزء من بخار الماء وإلى ظهور الأكسجين لأول مرة في الغلاف الجوي، إلا أن نسبة الأكسجين الذي تكوّن بتلك الطريقة كانت ضئيلة جداً. ويمكن أن نرجع البداية الحقيقية لدخول الأكسجين إلى الغلاف الجوي إلى نشأة الحياة بصورتها الأولية في البحار والمحيطات. فقد نشأت في مياه تلك البحار نوع من البكتيريا التي تعيش في وسط خال من الأكسجين. لكن كمية الأكسجين التي تمت إضافتها إلى الغلاف الجوي بهذه الطريقة كانت كمية محدودة أيضاً.

وتعود البداية الفعلية لوجود الأكسجين في الغلاف الجوي بنسبة كبيرة تقترب من نسبته الحالية إلى حوالي ٤٠٠ مليون سنة فقط، عندما انتشرت على سطح الأرض غابات كثيفة. إذ أن من المعروف أن النباتات تقوم أثناء عملية التمثيل الضوئي بأخذ ثاني أكسيد الكربون من الجو وإضافة الأكسجين.

(١) تركيب الغلاف الجوي

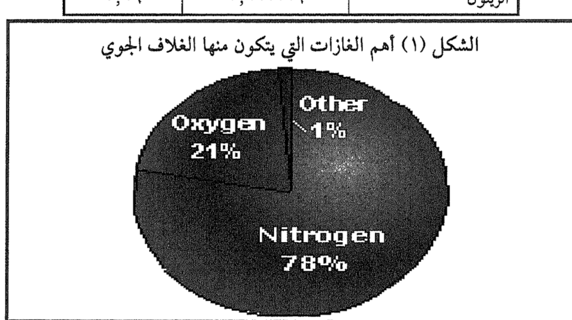
يمثل الغلاف الجوي - بتركيبه الحالي- محصلة نهائية لتطور الحياة على سطح الأرض عبر بلايين السنين. ويمثل الهواء النقي الجاف ـ وكما هو مبين في الجدول (٣) ـ من خليط من الغازات التي تدخل في تركيبه بنسبة ثابتة. إلا أن أهم تلك الغازات ـ وكما هو مبين في الشكل (١) هما النيتروجين الذي يشكل أكثر من ٧٨٪ من كتلة الغلاف الجوي، والأكسجين الذي يكون حوالي ٢١٪ من كتلة الغلاف الجوي.

جدول (٣)

الغازات التي تدخل في تركيب الغلاف الجوي المتجانس

الغاز	نسبته من حيث الحجم	جزء من المليون
النيتروجين	٧٨,٠٨	٧٨٠٨٤٠
الأكسجين	٢٠,٩٥	٢٠٩٤٦٠
الأرغون	٠,٩٣	٩٣٤٠
ثاني أكسيد الكربون	٠,٠٣	٣٥٠
النيون	٠,٠٠١٨	١٨
الهيليوم	٠,٠٠٠٥٢	٥,٢
الميثان	٠,٠٠٠١٤	١,٤
الكربتون	٠,٠٠٠١٠	١,٠
أكاسيد النترات	٠,٠٠٠٠٥	٠,٥
الهيدروجين	٠,٠٠٠٠٥	٠,٥
الأوزون	٠,٠٠٠٠٠٧	٠,٠٧
الزينون	٠,٠٠٠٠٠٩	٠,٠٩

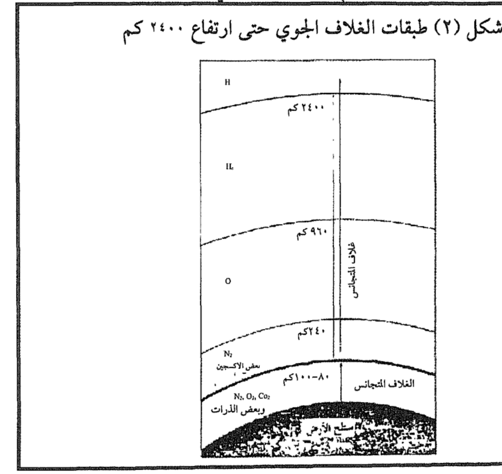
الشكل (١) أهم الغازات التي يتكون منها الغلاف الجوي



وبما أن الطبقات السفلى من الغلاف الجوي تشهد في كل لحظة حركـات كثـيرة تـؤدي باستمرار إلى مزج الغازات المختلفة التي يتكون منها الهواء بغـض النظـر عـن اختـلاف كثافتها، فإن التركيب الكيميائي للغلاف الجوي يبقى متجانساً حتى ارتفاع ٨٠كم، أي أن نسب الغازات الرئيسة التي يتكون منها وهـي النيـتروجين والأكسـجين والأرغـون وثاني أكسيد الكربون وغيرها تبقى ثابتة لا تتغـير. وتعـرف تلـك الطبقـات بـالغلاف الجوي المتجانس (Homosphere) وذلك تمييزاً له عن الغـلاف الجـوي غـير المتجـانس (Hetrosphere)، الذي يقع فوقه ويستمر حتى ارتفاع ٢٤٠٠ كم، حيث تختلـف نسـبة الغازات التي يتكون منها كلما ازداد الارتفاع (Weisberg,J.S.,1981 pp.27-28).

ويمكننا أن نقسم الغلاف الجوي غير المتجانس إلى أربعة طبقات رئيسة تبعاً لطبيعـة الغاز الذي تتكون منه كل طبقة (شكل ٢). علماً بأن كل طبقة من تلك الطبقـات تتكون من غاز واحد فقط، وأن تعاقب الطبقات هـو نتيجـة لتنـاقص وزن الغـاز الذي تتكون منه كل طبقة منها، وأهم تلك الطبقات هي:

شكل (٢) طبقات الغلاف الجوي حتى ارتفاع ٢٤٠٠ كم



- الطبقة الأولى: تلي هذه الطبقة الغلاف الجوي المتجانس مباشرة، وتمتد من ارتفاع ٨٠كم إلى ٢٤٠ كم. وهي تتكون بشكل رئيس من النيتروجين والأكسجين.
- الطبقة الثانية: تمتد هذه الطبقة حتى ارتفاع ٩٦٠ كم، وتتكون من ذرات أكسجين أحادية (O).
- الطبقة الثالثة: تمتد هذه الطبقة حتى ارتفاع ٢٤٠٠ كم، وهي تتكون من ذرات الهيليوم الخفيفة. خاصة وأن وزن ذرة الهيليوم يساوي ربع وزن ذرة الأكسجين.
- الطبقة الرابعة: تمتد هذه الطبقة حتى ارتفاع ٢٤٠٠ كم حيث تصبح كثافة الغلاف الجوي مساوية تقريباً لكثافة الهواء الكوني، مما يدل على النهاية المطلقة للغلاف الجوي. تتكون هذه الطبقة من ذرات الهيدروجين الخفيفة، حيث يقل وزن ذرة الهيدروجين الواحدة عن ربع ذرة الهيليوم.

وأهم الغازات التي تدخل في تركيب الغلاف الجوي هي النيتروجين (٧٨,٠٨٪) والأكسجين (٢٠,٩٥٪)، وهما يكونان معاً أكثر من ٩٩٪ من الغلاف الجوي. ويتكون الجزء الباقي من عدد كبير من الغازات التي تدخل في تركيبه بنسب ضئيلة جداً، وأهمها ثاني أكسيد الكربون والأرغون والهيليوم والأوزون وغيرها.

ويعد بخار الماء من أهم الغازات التي تدخل في تكوين الغلاف الجوي، لكن نسبته تختلف اختلافاً كبيراً من مكان لآخر، ومن وقت لآخر. فهي قد تصل إلى ٤٪ من كتلة الهواء في المناطق الرطبة، لكنها تقترب من الصفر في المناطق الصحراوية الجافة كالربع الخالي. ويتركز معظم بخار الماء في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي، ويكاد يكون معدوماً على ارتفاع ١٠ – ١٥ كم. والحقيقة أن أهمية بخار الماء، والدور الرئيس الذي يلعبه في نشأة وتطور معظم الظواهر الجوية يفوق بكثير نسبته المتواضعة في الغلاف الجوي فهو المسؤول عن تكون السحب وسقوط الأمطار وتكون الثلج والبرد والندى وحدوث التبخر، كما أنه يؤثر بشكل مباشر على الموازنة الإشعاعية وعلى المدى اليومي والسنوي لدرجة الحرارة. وتؤكد النظريات المناخية الحديثة أن الأعاصير المدارية بأنواعها تستمد

طاقتها التدميرية الهائلة من تكاثف بخار الماء.

وأهم المركبات الأخرى الصلبة أو السائلة التي تدخل في تكوين الغلاف الجوي بنسب غير ثابتة الشوائب من غبار ورمال وأتربة ودخان وأملاح و Hydrogen sulfide وأول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت، وغيرها. وتختلف نسبة الشوائب اختلافاً كبيراً بين المناطق الريفية حيث تقل نسبتها عن ١٠٠ جزء في السنتمتر المكعب من الهواء، إلى عدة ملاين من الجزيئات في السنتمتر الواحد من هواء المدن المزدحمة. وبما أن سطح الأرض هو المصدر الرئيس للغالبية الساحقة من الشوائب التي تلوث الغلاف الجوي، فإن غالبية الشوائب تتركز في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي.

وتعد الشهب والنيازك مصدراً آخر للشوائب في الطبقات العليا من الغلاف الجوي خاصة وأن أجزاء كبيرة من تلك الشهب تحترق بعيد دخولها إلى الغلاف الجوي وتتفتت إلى رماد ينتشر في الهواء. ويقدر الغبار الذي يدخل إلى الغلاف الجوي عن هذه الطريق بأكثر من خمسة بلايين كيلو غرام سنوياً.

وقد لوحظ أن نسبة الشوائب في الغلاف الجوي قد طرأ عليها زيادة كبيرة منذ منتصف القرن الحالي نتيجة للزيادة الهائلة في عدد سكان هذا الكوكب وزيادة النشاط البشري العمراني والصناعي وغيره. ولا شك أنه سيكون لهذه الزيادة، إذا استمرت دون تغيير، آثار هامة على المناخ، إذ أنها ستزيد نسبة الإشعاع الشمسي الذي يمتصه الغلاف الجوي أو يعكسه، مما يؤدي إلى تناقص كمية الإشعاع الشمسي التي تصل سطح الأرض.

(٢) طبقات الغلاف الجوي

تطلق محطات الأرصاد الجوية الرئيسة المنتشرة في معظم جهات العالم في كل يوم مئات الأجهزة المخصصة لرصد عناصر الطقس في مقطع رأسي للغلاف الجوي يمتد من سطح الأرض حتى ارتفاع يربو على الثلاثين كيلومتراً. وتعرف تلك الأجهزة بالراديوسوند Radiosonde يتكون جهاز الراديوسوند من صندوق

معدني يحتوي على أجهزة لقياس درجة الحرارة والرطوبة والضغط الجوي. كما يحتوي على جهاز إرسال يقوم ببث تلك القياسات مباشرة إلى المحطة الأرضيـة. ويقوم منطاد ضخم ملئ بغاز الهيليوم بحمل الراديوسوند حتـى ارتفـاع ٣٠كـم على الأقل. وعندما ينفجر المنطاد علـى ذلـك الارتفـاع، تنفتـح مظلـة خاصـة تساعد جهاز الراديوسوند على الهبوط البطيء باتجـاه الأرض. وتطلـق أجـهزة الراديوسوند عادة على دفعتين يفصل بين الواحدة والأخرى ١٢ ساعة. ويتـم إطلاق الدفعة الأولى الساعة ٢٤ حسب توقيت جر ينتش، بينما تطلـق الدفعـة الثانية بعد ذلك باثنتي عشرة ساعة. ويتـم مراقبـة الراديوسـوند لحظـة إطلاقـه بواسطة الرادار لتحديد اتجاه وسرعة الرياح.

ويستخدم في إطلاق أجهزة الراديوسوند أحياناً صواريخ صغـيرة مـهيأة لهـذا الغرض، وتستطيع حمل جهاز الراديوسـوند إلى ارتفاعـات أكـبر. وعلـى كـل حال، فإن الأقمار الاصطناعية المخصصـة لكـي ترصـد مـن الفضـاء عنـاصر الطقس المختلفة والظواهر الجوية المتعددة تسـاهم منـذ عـام ١٩٥٧ في رصـد عناصر الطقس في معظم مناطق العالم[١].

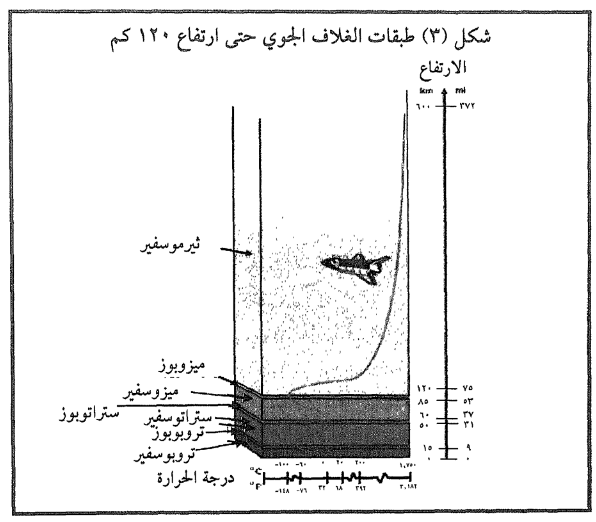
وقد أصبحنا نملك الآن بيانات تفصيلية عن تغير عناصر الطقس عبر مقطع رأسـي يمتد من سطح الأرض إلى أعلى[٢]. ونستطيع ـ بناء على ذلك، خاصة على معـدل تغير درجة الحرارة بالارتفاع ـ أن نميز في الغلاف الجوي بين عـدة طبقـات متتابعـة من أعلى إلى أسفل (شكل ٣).

---

(١) أطلق الاتحاد السوفيتي السابق أول قمر اصطناعي مخصص لرصد عناصر الطقس (Sputnik 1) عام ١٩٥٧ وتبعته الولايات المتحدة عام ١٩٦٠ بإطلاق (TIROS1). وقد أطلق منـذ ذلك الوقت عدد كبير من الأقمار الاصطناعية المخصصة لهذا الغرض.

(٢) لا نستطيع أن نضع حداً واضحاً يبين نهاية الغلاف الجوي، إذ أن بعض الغازات الخفيفة قـد تم رصدها على ارتفاعات تصل إلى ٦٠٠٠ كم. وكما تذكر ستونهينج فإن سمك الغـلاف الجوي يصل إلى أكثر من ١٠٠٠ كم.

شكل (٣) طبقات الغلاف الجوي حتى ارتفاع ١٢٠ كم



وأهم تلك الطبقات هي:

- التروبوسفير Troposphere

تمثل التروبوسفير الطبقة الأولى من طبقات الغلاف الجوي، وهي الطبقة الملامسة لسطح الأرض مباشرة، ويتراوح سمكها بين ثمانية كيلومترات عند القطبين و١٦كم في المناطق المدارية، وتحتوي على ٧٥٪ من الغلاف الجوي في المناطق المعتدلة. وقد سميت هذه الطبقة بالتروبوسفير لأنها أكثر طبقات الغلاف الجوي اضطرابا. وتعد هذه الطبقة أهم طبقات الغلاف الجوي وأكثرها صلة مباشرة بحياتنا اليومية، كما أن جميع الاضطرابات الجوية تحدث فيها.

وهي أكثر طبقات الغلاف الجوي تأثراً بالتلوث الجوي. وبما أن مصدر تسخين هذه الطبقة هو سطح الأرض، فإنها تمتاز بتناقص درجة الحرارة بالارتفاع.

ويبلغ معدل التناقص في المتوسط ٠,٦٤ درجة مئوية لكل ١٠٠ متر، أي درجة مئوية واحدة لكل ١٥٠ متراً.

تنتهي طبقة التروبوسفير عند المستوى الذي تتوقف فيه درجة الحرارة عن التناقص بالارتفاع. وتبدأ عند ذلك المستوى طبقة أخرى انتقالية لا تتغير فيها درجة الحرارة بالارتفاع وتعرف بالتروبوبوز (Tropopause). وهي طبقة قليلة السمك نسبياً، وتعد طبقة انتقالية تجمع بين الخصائص الحرارية للتروبوسفير والطبقة الأخرى الواقعة فوقها والتي تعرف بالستراتوسفير (Stratosphere). وتشكل طبقة التروبوبوز الحد الأعلى الذي يمكن ان تصل إليه الاضطرابات الجوية الأرضية المنشأ، كما أن كل الطاقة الكامنة للتبخر أو التكاثف في الغلاف الجوي موجودة أسفلها. والحقيقة ان التروبوبوبوز ليست طبقة واحدة متصلة بل مجموعة من طبقات ثانوية ذات خصائص مختلفة. ويتباين ارتفاع التربوبوز بين المناطق المدارية والقطبية، فبينما يتراوح فوق المنطقة القطبية بين ٩-١٢ كم، فإنه يتراوح في المنطقة الاستوائية بين ١٦- ١٧ كم.

حظيت طبقة التروبوبوز بالرصد والدراسة اكثر من طبقات الغلاف الجوي الانتقالية الأخرى، وصار يرسم لها يومياً خرائط طقس تفصيلية، خاصة بعد أن ثبت وجود علاقة قوية بينها وبين الاضطرابات الجوية التي تحدث على سطح الأرض. ويستدل علماء الأرصاد من تقطع طبقة التروبوبوز، وتفاوت ارتفاعها، واختلاف درجة حرارتها، وظهور بعض الالتواءات فيها، على حالة الجو المتوقعة. فموجات البرد الشديد التي تتعرض لها بعض جهات اوروبة أحياناً تقترن بتدني مستوى التروبوبوز، وتكَون مرتفع جوي (Anticyclone) فوق المحيط الاطلسي، ومنخفض جوي (cyclone) فوق شمالي شرقي غرب اوروبة. وعندما يظهر التروبوبوز على خريطة الطقس الخاصة بالمحيط الهادئ على شكل قاع (Through) فان ذلك يكون نذيرا بحدوث أعاصير التيفون المشهورة[1]. ويشير ارتفاع مستوى التروبوبوز وانخفاض درجة حرارته في اليابان إلى اقتراب وصول كتل هوائية مدارية دافئة.

---

(١) يستخدم مصطلحي (قاع) **Through** و (قمة) **Ridge** في وصف الحركة الموجية للرياح في طبقات الجو العليا.

تعرف الطبقة الرئيسة الثانية التي تلي طبقة التروبوسفير بالستراتوسفير، وهي تمتد في المتوسط حتى ارتفاع ٥٠كم. تمتاز العشرين كيلومتراً الأولى من هذه الطبقة بثبات درجة الحرارة وعدم تغيرها بالارتفاع، لكن درجة الحرارة في الجزء المتبقي من هذه الطبقة تزداد بالارتفاع زيادة كبيرة، حتى أن درجة حرارة الهواء على ارتفاع ٥٠ كم وهو الحد الأعلى لهذه الطبقة تساوي معدل درجة حرارة الهواء على سطح الأرض.

المصدر الرئيس للطاقة في هذه الطبقة هو أشعة الشمس فوق البنفسجية التي تمتصها طبقة الأوزون الموجودة على ارتفاع ٣٠-٣٥ كم. وقد كان يعتقد ـ حتى وقت قريب ـ أن طبقة الستراتوسفير خالية من الرياح، إلا أن البيانات المناخية الحديثة التي تم جمعها بوسائل الرصد المتطورة قد ثبتت وجود رياح مختلفة الأنواع فيها. وكان يُعتقد أن هذه الطبقة تخلو من الحركة الرأسية للهواء، الا انه قد ثبت حديثا ان التميز بينها وبين التروبوسفير على أساس الحركة الرأسية للهواء ليس مهماً أبداً.

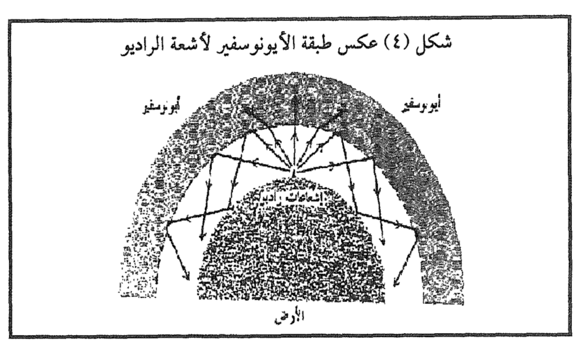
يلتقي الستراتوسفير مع الطبقة الرئيسة الثالثة التي تقع فوقه وتعرف بالميزوسفير (Mesosphere) ويفصل بينهما طبقة انتقالية تعرف بالستراتوبوز (Stratopause). وتمتد طبقة الميزوسفير بين مستوى ٥٠كم - ٨٠كم، وتمتاز بتناقص درجة الحرارة فيها بالارتفاع. أما مصدر حرارة الميزوسفير فهو امتصاص الاوزون الموجود على ارتفاع ٣٥-٥٠ كم لأشعة الشمس فوق البنفسجية، ولهذا فان الارتفاع إلى أعلى يعني الابتعاد عن مستوى طبقة الاوزون مما يؤدي إلى تناقص درجة الحرارة.

تلتقي طبقة الميزوسفير على ارتفاع ٨٠كم بالطبقة الأخيرة من طبقات الغلاف الجوي وهي طبقة الثيرموسفير (Thermosphere). تعرف هذه الطبقة أحياناً بالايكسوسفير (Exosphere) أو "الغلاف الجوي الخارجي"، لأنها الطبقة الأخيرة من طبقات الغلاف الجوي وتمتد من ارتفاع ٨٠كم إلى ٩٠٠ كم. وتعرف في أحيان أخرى بالأيونوسفير (Ionosphere`) لأن الهواء الموجود فيها يتكون من غازاتٍ خفيفة متأينة أي مشحونة كهربائياً، خاصة وأن أشعة الشمس فوق البنفسجية تؤثر على الهواء الخفيف الموجود في هذه الطبقة وتجعله يشحن كهربائياً. ويفصل بين

هذه الطبقة من الهواء المتأين وطبقة الميزوسفير التي تقع أسفلها طبقة انتقالية أخرى تعرف بالميزوزبور (Mesopause).

لا تؤثر هذه الطبقة بشكل مباشر على الطقس ولكنها تكتسب أهمية خاصة في مجال الاتصالات والبث الإذاعي. فكما هو مبين في الشكل (٤)، فإن هذه الطبقة تعكس موجات الراديو باتجاه سطح الأرض، لتعود فتنعكس إلى أعلى من جديد، مما يوسع مجال البث الإذاعي ويجعله يغطي مناطق ما كان سيصل إليها لولا وجود تلك الطبقة.

شكل (٤) عكس طبقة الأيونوسفير لأشعة الراديو



ويلاحظ أن طبقة الأيونوسفير ليست طبقة واحدة متجانسة، بل مجموعة من الطبقات الثانوية المتميزة، التي يرمز لها برموز خاصة مثل (D, E, F). أما الطبقة (E) فتمتد من ارتفاع ٧٥ - ٩٥ كم وهي طبقة قليلة التأين.أما الطبقة الثالثة (F) فتقع بعد مستوى ١٥٠ كم وهي تتكون دورها من عدد من الطبقات الثانوية المتميزة مثل الطبقة (F_2) ذات الأهمية الخاصة في عكس موجات الراديو[1].

---

(١) انظر الموقع التالي على شبكة الانترنيت (http://www.ngdc.noaa.gov/stp/IONO/ionostru.html)

(٣) الغلاف الجوي القياسي The Standard Atmosphere

الغلاف الجوي القياسي غلاف نظري لا وجود له في الواقع، لكنه يمثل معدلات تغير كل من درجة الحرارة والضغط الجوي وكثافة الهواء بالارتفاع في المناطق المعتدلة. وقد اشتقت خصائصه في البداية بتطبيق قوانين فيزيائية خاصة، لكن البيانات التي تم جمعها - بعد ذلك - عن طريق أجهزة الراديوسوند والأقمار الصناعية، قد أكدت صحة تلك النتائج.

يكتسب الغلاف الجوي أهمية خاصة في مجالات الطيران وغزو الفضاء، فضلاً عن أهميته في دراسة الغلاف الجوي. وقد تم في الواقع تطوير عددٍ من الأغلفة الجوية القياسية كالغلاف الجوي الأمريكي، والغلاف الجوي الفرنسي والغلاف الجوي الروسي، والغلاف الجوي الخاص الذي طورته المنظمة العالمية للأرصاد الجوية. لكن أهم تلك الأغلفة هو الغلاف الجوي الأمريكي المبين في الجدول (٤) الذي يمتد حتى ارتفاع ٧٠٠ كم ويستعمل في كتب المناخ والأرصاد الجوية أكثر من غيره.

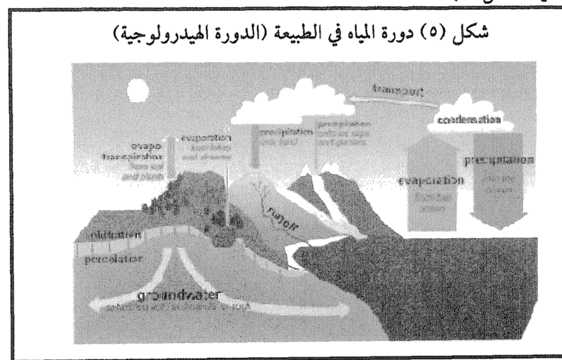
جدول (٤) الغلاف الجوي القياسي الأمريكي

الارتفاع (كم)	درجة الحرارة (م)	الضغط الجوي (ميلليبار)[1]	كثافة الهواء (كغم/م٣)
.	١٥,٠	١٠١٣	١,٢
١	٨,٥	٩٠٠	١.١
٢	٢,٠	٨٠٠	١,٠
٣	٤,٥-	٧٠٠	٠,٩١
٤	١١,٠-	٦٢٠	٠,٨٢
٥	١٧,٥-	٥٤٠	٠,٧٤
٦	٢٤,٠-	٤٧٠	٠,٦٦
٧	٣٠,٥-	٤١٠	٠,٥٩
٨	٣٧,٠-	٣٦٠	٠,٥٣
٩	٤٣,٥-	٣١٠	٠,٤٧
١٠	٥٠,٠-	٢٦٠	٠,٤١
١١	٥٦,٥-	٢٣٠	٠,٣٦
١٢	٥٦,٥-	١٩٠	٠,٣١
١٣	٥٦,٥-	١٧٠	٠,٢٧
١٤	٥٦,٥-	١٤٠	٠,٢٣
١٥	٥٦,٥-	١٢٠	٠,١٩
١٦	٥٦,٥-	١٠٠	٠,١٧
١٧	٥٦,٥-	٩٠	٠,١٤
١٨	٥٦,٥-	٧٥	٠,١٢
١٩	٥٦,٥-	٦٥	٠,١٠
٢٠	٥٦,٥-	٥٥	٠,٠٨٨
٢١	٥٥,٥-	٤٧	٠,٠٧٥
٢٢	٥٤,٥-	٤٠	٠,٠٦٤
٢٣	٥٣,٥-	٣٤	٠,٠٥٤
٢٤	٥٢,٥-	٢٩	٠,٠٤٦
٢٥	٥١,٥-	٢٥	٠,٠٣٩

(١) الميلليبار وحدة دقيقة لقياس الضغط الجوي تساوي في المقياس الزئبقي ٠,٧٥ ميليمتر.

أنشطة الفصل الأول

النشاط الأول: يبين الشكل (٥) دورة المياه في الطبيعة (الدورة الهيدرولوجية)، والمطلوب هو عرض ذلك الشكل في قاعة التدريس، وتقسيم الطلبة الى مجموعات تركيز (Focus Groups) ثم قيام رئيس كل مجموعة بتقديم التحليل الخاص بمجموعته لكل طلبة الصف.



شكل (٥) دورة المياه في الطبيعة (الدورة الهيدرولوجية)

النشاط الثاني: يحتوي الموقع التالي على تقرير جيد عن تركيب الغلاف الجوي. المطلوب تلخيص ذلك التقرير والتعليق عليه، وتضمين ذلك التقرير في ملف الإنجاز العلمي لكل طالب.

http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=107

النشاط الثالث: المطلوب استخدام شبكة الانترنيت لتحديد ثلاثة مواقع على الأقل تحتوي على مقالات عن تركيب الغلاف الجوي وخصائصه، وتضمين ذلك التقرير

في ملف الإنجاز العلمي لكل طالب.

الفصل الثاني

الإشعاع الشمسي

الشمس كتلة ضخمة من الغازات الملتهبة يزيد قطرها على ١,٣٠٠,٠٠٠ كيلو متر أي بما يزيد على قطر الأرض بمائة ضعف. وأهم الغازات التي تتكون منها الشمس هما غازي الهيدروجين والهيليوم، اللذان يكونان ٩٠٪ من كتلة الشمس. ويبلغ متوسط درجة حرارة سطح الشمس حوالي ٥٧٠٠ م، بينما تصل درجة الحرارة في جوفها إلى خمسة عشر مليون درجة مئوية تقريباً. ويمكن تشبيه الشمس بمفاعل نووي ضخم يتم في داخله توليد الطاقة عن طريق تفاعلات كيميائية يتم بموجبها تحول ذرات الهيدروجين إلى هيليوم وتتحول المادة التي تفيض من التفاعل إلى طاقة هائلة هي الطاقة الشمسية[1]. وتنتقل الطاقة الشمسية في الفضاء على شكل موجات كهرومغناطيسية مختلفة تسير في الفضاء بسرعة تبلغ ٣٠٠,٠٠٠

---

(١) ينتج عن كل أربع ذرات هيدروجين ذرة هيليوم واحدة، لكن ذرة الهيليوم الواحدة تقل قليلا عن أربعة ذرات هيدروجين، ويتم تحول هذا الفائض من المادة إلى طاقة هائلة هي الطاقة الشمسية. ويكفي للتدليل على ضخامة الطاقة الشمسية التي يتم توليدها بهذه الطريقة أنه يتم في كل ثانية تحول ٨٠٠ مليون طن من الهيدروجين إلى هيليوم، وأن هذه المادة من الهيدروجين يتم تحولها إلى طاقة وفقاً لقانون اينشتين التالي:

الطاقة = المادة * س٢

حيث أن (س) تمثل سرعة الضوء التي تبلغ ٣٠٠٠٠٠ كم/ الثانية. ويدل هذا على ضخامة الطاقة التي تتولد عند تحول المادة إلى طاقة . ويعتقد أن الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض في كل ٤٠ دقيقة تعادل الاستهلاك العالمي من الطاقة لمدة ١٠٠ عام، وذلك وفقاً للمعدلات العالمية الحالية لاستهلاك الطاقة.

كيلو متر في الثانية. وبما أن المسافة التي تفصل بين الأرض والشمس تبلغ في المتوسط حوالي ١٥٢ مليون كيلومتر، فإن الأشعة الشمسية تصل إلى سطح الأرض بعد شروق الشمس بثمان دقائق تقريبا.

ويمكننا أن نقدر ما يشعه سطح الشمس من طاقة وفقاً لقانون ستيفن-بولتزمان (Stefan - Boltzman) الذي ينص على أن الطاقة التي يشعها الجسم الأسود (Black Body) تتناسب طرداً مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة لذلك الجسم وفقاً للقانون التالي[١]:

$$ف = ث ح^{٤}$$

حيث أن (ف) تمثل الطاقة الإشعاعية (Emissive Power) للجسم الأسود بينما تمثل (ث) ثابتاً يعرف بثابت ستيفن - بولتزمان، ويساوي ٨,١٧ * ١٠$^{-١١}$ سعر سم$^{-٢}$ ث$^{-١}$. أما (ح) فتمثل درجة الحرارة المطلقة للسطح المشع[٢].

(١) طيف الإشعاع الشمسي

يتكون الإشعاع الشمسي من مجموعات لا حصر لها من الأشعة ذات الأطوال المختلفة. ولا تشكل الأشعة الضوئية إلا حوالي ٤١٪ منها، بينما يتوزع الباقي على مجموعات أخرى من الأشعة مثل أشعة الراديو، والمايكروويف، والأشعة تحت الحمراء، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية (X-rays)، وأشعة جاما (شكل ٦).

---

(١) الجسم الأسود هو خاصية فيزيائية تنطبق على الأجسام التي تمتص كل الأشعة التي تسقط عليها ولا تعكس منها شيئاً . وأهم الأجسام السوداء هو سطح الشمس ، أما سطح الأرض فليس جسما أسوداً تماماً لأنه لا يمتص كل الإشعاع الشمسي الذي يصل إليه ، بل إن جزءاً من ذلك الإشعاع ينعكس إلى أعلى مرة ثانية .

(٢) الطاقة الإشعاعية لأي جسم هي الطاقة التي يشعها السنتمتر المربع الواحد من سطح ذلك الجسم في الدقيقة (سعر سم-٢ دقيقة-١) ، وهي تساوي الطاقة الامتصاصية للجسم . أما درجة الحرارة المطلقة فتساوي درجة الحرارة المئوية مضافاً إليها ٢٧٣ درجة

شكل (٦) طيف الإشعاع الشمسي

طول الموجة (سنتميتر) — التردد (هيرتز)

وتتكون الأشعة الشمسية من موجات بالغة الفصر، لا يتعدى طول معظمها أجزاء بسيطة من المليمتر. إلا أن لتلك الموجات أهمية قصوى، إذ أن خصائص الأشعة تختلف تبعاً لاختلاف طول موجاتها (wave length) وترددها (frequency). وبما أن الموجة الواحدة تتكون من قمة(peak) وقاع (trough)، فإن طول الموجة يقاس بالمسافة التي تفصل بين قمتين أو قاعين (شكل ٧). ويقاس تردد الموجات بعدد القمم أو القيعان التي تمر من خلال نقطة واحدة في الثانية، ويعرف مرور موجة واحدة بالدورة (Cycle)، ويطلق على الدورة الكاملة في الثانية بالهيرتز (Hertz). وبناء على هذا فإن تردد الموجات يتناسب عكسياً مع أطوالها، فالموجات الأقصر ذات تردد أعلى، والموجات الطويلة ذات تردد منخفض. وكلما كان تردد الموجة أعلى كلما كانت الطاقة الناتجة عنها أكبر، أما الموجات بطيئة التردد فموجات قليلة الطاقة.

شكل (٧) موجات الإشعاع الشمسي

طول الموجة

وبالرغم من أن الطيف الشمسي طيف متصل، إلا أننا نميز فيه بين حزم إشعاعية معينة تبعاً لأهميتها أو لخصائصها. فكما هو مبين في الشكل (٦) الذي سبقت الإشارة إليه، فإن أطول أنواع الأشعة الشمسية وأقلها طاقة هي موجات الراديو، إذ يتراوح طولها من مئات الكيلومترات إلى جزء بسيط من السنتيمتر، ويصل ترددها إلى بليون هيرتز. ويليها أشعة المايكرويف التي يتراوح طولها بين ٣٠٠ مليمتر إلى ١ ,٠ مليمتر. ويأتي في الطرف الآخر من الطيف الذي يمثل الأشعة بالغة القصر أشعة جاما والأشعة السينية.

وبالرغم من تعدد أنواع الأشعة التي يتضمنها الطيف الشمسي وتنوعها، إلا أن ما يهمنا منها في دراسة المناخ ثلاثة أنواع رئيسة هي:

- الأشعة فوق البنفسجية (Ultra Violet Radiation).
- الأشعة الضوئية (Visible Radiation)
- الأشعة تحت الحمراء أو الأشعة الحرارية (Interface Radiation)

(١-١) الأشعة فوق البنفسجية:

وهي أشعة قصيرة الموجات تشمل جميع الأشعة التي يقل طولها عن ٠,٤ مايكرون، وتكون ٦ - ٧٪ من الأشعة الشمسية. وهي أشعة مفيدة لصحة الإنسان عندما تصله بكميات قليلة، إذ تساعد على علاج بعض أمراض لين العظام والكساح وغيره، ويرجع ذلك إلى قدرتها على تكوين فيتامين (د) في الجلد وعلى إضعاف أثر البكتيريا وبعض الجراثيم، كما أنها تعطي البشرة البيضاء اللون البرونزي الذي تتلون به عند تعرضها للأشعة الشمسية مدة طويلة. إلا أن لزيادة هذه الأشعة أثراً مدمراً ليس للإنسان فحسب بل لكل النظام الحيوي، كما أن لها آثاراً خطيرة على المناخ. ولحسن الحظ فإنه لا يصل سطح الأرض منها إلا كمية قليلة بينما تمتص طبقة الأوزون الجزء الأكبر منها وتمنعها من الوصول إلى سطح الأرض. ولهذا فإن تلويث الإنسان لتلك الطبقة بفعل الطيران المرتفع أو بعض النشاطات البشرية التي تتم على سطح الأرض ويستخدم فيها غازات معينة مثل الغازات المستعملة في تبريد الثلاجات وفي اسطوانات البخ (Spray) المستعمل في دهان السيارات وعلب المبيدات الحشرية ومواد تصفيف الشعر وغير ذلك، له آثار بيئية خطيرة.

(١-٢) الأشعة الضوئية:

وهي الأشعة التي تجعلنا نرى وتضيء حولنا، وهي تتكون من مجموعة الأشعة التي تتراوح أطوالها بين ٠,٤٠ - ٠,٧٤ مايكرون، وتكون ٤١٪ - ٤٢٪ من الإشعاع الشمسي. ويمكن أن نميز فيها الأشعة الزرقاء والحمراء والصفراء والخضراء وغيرها من الأشعة مختلفة الألوان والتي يتكون الضوء من امتزاجها معاً. وهذه الأشعة ضرورية لقيام النبات بعملية التمثيل الضوئي.

(١-٣) الأشعة تحت الحمراء أو الأشعة الحرارية:

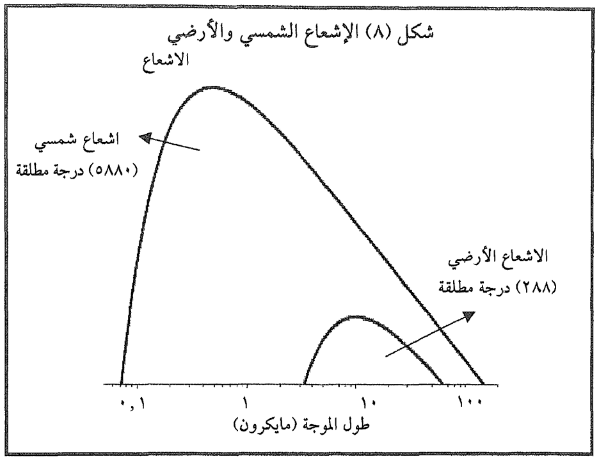
تكّون الأشـعة تحـت الحمـراء ٥١٪ مـن مجمـوع الإشـعاع الشمسـي، وهـي أكـثر إشعاعات الشمس طولاً، ويـتراوح طولها بـين ٠,٧٥ - ٤ مـايكرون، ويسـتخدم الجزء الأكبر منها في رفع درجة حرارة سطح الأرض والغلاف الجوي، وهـي لهـذا ذات أهمية كبيرة في الدراسات المناخية.

(٢) الإشعاع الأرضي

غني عن القـول أن الشـمس هـي المصـدر الرئيس للإشـعاع الـذي يصـل النظـام الأرضي، وأن مساهمة المصادر الأخرى كـالنجوم وغيرهـا ضئيلـة جـداً ولا تكـاد تذكر. لكن كل جسم موجود على سطح الأرض وتزيد درجة حرارته عن الصفـر المطلق يعد مصدراً مباشراً للإشعاع. وقد قلنا بأنه مصدر مباشر، لأنه ليس مصـدراً أصيلا للإشعاع، بل إنه يستمد طاقته الإشعاعية من امتصاصه للأشعة الشمسية.

وكما هو مبين في الشكل (٧)، فإن مقدار الأشعة الصادرة عـن كـل مـن الشـمس والأرض تتنسب مع درجة الحرارة المطلقة لكل منهما، حيث متوسط درجة حـرارة سطح الشمس ٥٨٨٠ درجة مطلقة بينمـا لا يزيـد متوسـط درجـة حـرارة سـطح الأرض٢٨٨ درجة مطلقة.

شكل (٨) الإشعاع الشمسي والأرضي



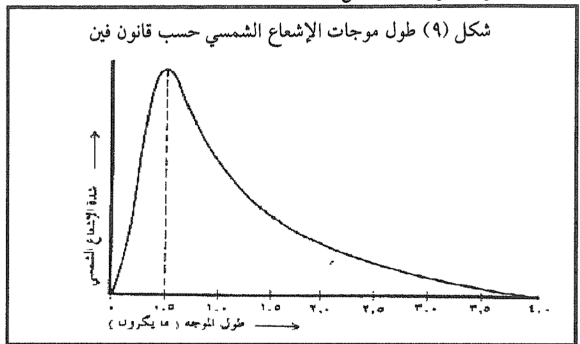
ويختلف طول الإشعاع الصادر من أي جسم، تبعاً لاختلاف درجة حرارة الجسم. ويتناسب طول الأشعة تناسباً عكسياً مع درجة حرارة الجسم. فالأجسام التي تمتاز بدرجة حرارة مرتفعة تصدر عنها أشعة قصيرة الموجات، بينما يصدر عن الأجسام الباردة أشعة طويلة الموجات. ويمكن حساب طول موجات الأشعة الشمسية التي تصدر من أي جسم أسود وفقاً لقانون خاص يعرف بقانون فين (Wien's Displacement Law)، الذي ينص على أن طول معظم الأشعة التي تصدر من الجسم الأسود تتناسب عكسياً مع درجة حرارة ذلك الجسم، وفقاً للمعادلة التالية:

ل = ٢٨٩٧/ ح

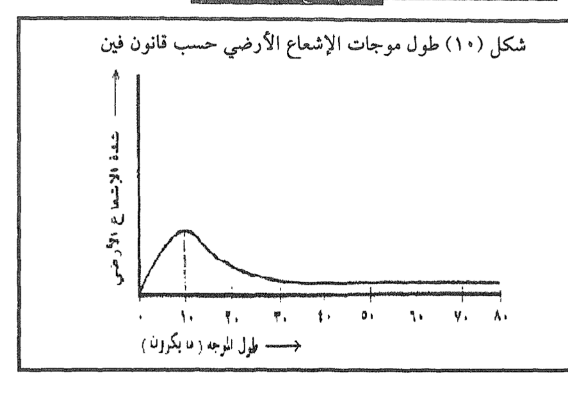
حيث تمثل (ل) طول موجات الأشعة بالمايكرون، بينما تمثل (ح) درجة حرارة الجسم المشع. وبتطبيق ذلك القانون على الشمس باعتبارها جسماً أسوداً، نجد أن معظم الأشعة الشمسية ذات طول يبلغ ٥, ٠ مايكرون تقريباً أي أنها أشعة قصيرة الموجات (شكل ٨).

أما سطح الأرض فإن دوره في مجال الإشعاع لا يقتصر على كونه يعكس جزءاً من أشعة الشمس التي تسقط عليه، بل يصدر عنه أيضاً إشعاع خاص يعرف بالإشعاع الأرضي وهو إشعاع حراري طويل الموجات. ونستطيع أن نتأكد من ذلك بتطبيق قانون فين لحساب طول الإشعاع الأرضي. إذ نجد أنه يصل إلى ١٠ مايكرون، أي ما يزيد على طول الأشعة الشمسية بعشرين ضعفاً. ولهذا يعرف الإشعاع الشمسي بالأشعة قصيرة الموجات، بينما يعرف الإشعاع الأرضي بالأشعة طويلة الموجات (شكل ٩).

شكل (٩) طول موجات الإشعاع الشمسي حسب قانون فين



شكل (١٠) طول موجات الإشعاع الأرضي حسب قانون فين



(٣) أثر الغلاف الجوي على الإشعاع الشمسي:

يتعرض الإشعاع الشمسي أثناء مروره في الغلاف الجوي إلى عدد من العمليات التي تضعفه وتضيع جزءاً منه. ولهذا فإنه كلما كان مسار الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي أقصر وصل إلى سطح الأرض قوياً ومركزاً كما هو الحال في المناطق المدارية. أما إذا كان مساره طويلاً، فإن جزءاً كبيراً منه يضيع قبل أن يصل سطح الأرض، كما هو الحال في المناطق الباردة والقطبية.

وأهم العمليات التي يتعرض لها الإشعاع الشمسي أثناء مروره في الغلاف الجوي هي العمليات التالية (Monteith, J. K., 1962,& Liou, K. N., 1967).

- الامتصاص (Absorption).
- الانتشار (Scattering).
- الانعكاس (Reflection).

(٣-١) الامتصاص:

يعد غازا الأكسجين والنيتروجين اللذان يكونان أكثر من ٩٩٪ من الغلاف

الجـوي موصلـين جيديـن للإشـعاع الشمسـي، إذ أنـهما يسـمحان للإشـعاع الشمسي بالمرور دون أن يمتصا منه شيئاً. أما غاز الأوزون الـذي لا يشـكل إلا نسبة ضئيلة من الغلاف الجوي فإنه يمتاز بمقدرته الكبيرة على امتصاص الأشعة قصيرة الموجات والتي يقل طولها عن ٠,٣ مايكرون. ولهذا فـإن طبقـة الأوزون تمتص جزءاً كبيراً من أشـعة الشـمس قصـيرة الموجـات خاصـة الأشـعة فـوق البنفسجية ولا تسمح إلا لجزء ضئيل منها أن يصل سطح الأرض. وتقدر نسبة الإشعاع الشمسي الذي يمتصه الأوزون بـ ٢٪.

أما بخار الماء الذي يتركز في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي، فإنه يمتـص مـا بـين ٦٪ إلى ٨٪ من الإشعاع الشمسي. وبخار الماء جيد الامتصاص للأشعة التي يـتراوح طولها بين ٤ - ٥,٤ ما يكـرون، والأشـعة الـتي يـتراوح طولهـا بـين ١١ - ٣٠ مـا يكرون.

أما ذرات الغبار فإنها تمتص ٢٪ من الإشعاع الشمسي. وبهذا يمكن القول إن أكـثر من ١٢٪ من الأشعة الشمسية التي تعبر الغلاف الجوي يمتصها ذلك الغـلاف قبـل أن تصل سطح الأرض.

(٣-٢) انتشار الأشعة:

يترتـب على انكسار الأشـعة أثنـاء مرورهـا في الغـلاف الجـوي انتشـارها في جميـع الاتجاهات. والذي يقوم بعملية النشر هي جزئيات الهواء وبخار الماء وذرات الغبـار والدخان والأتربة والأملاح وغيرها من الشوائب العالقة بالهواء.

وعملية انتشار الأشعة أكثر فعالية في الأشعة قصيرة الموجات خاصة الأشعة الزرقـاء التي تعد أقصر أنواع أشعة الشمس الضوئيـة[1]. لهـذا فإنـه بمجـرد وصـول الإشـعاع الشمسي إلى الغلاف الجوي، فإن الجزء الأكبر من الأشعة الزرقاء تنتشر في الفضاء مما

---

(١) أكثر الشوائب فعالية في نشر الأشعة هي الشوائب البالغة الدقـة ، بـل إن أشـعة الشـمس لا تنتشر في الجو إلا بفعل الشوائب التي يقل قطر الواحـدة منـها عـن طـول موجـات تلـك الأشعة .

يكسب السماء اللون الأزرق. ولعل كلاً منا لاحظ تحول لون السماء إلى اللون الأزرق الغامق بعيد سقوط الأمطار لأنها تغسل الغلاف الجوي من جزء كبير من الشوائب التي كانت تعمل على نشر الأشعة الشمسية الزرقاء. وتزيد نسبة الأشعة المنتشرة (Diffuse Radiation) عن ٩٪ من مجموع الأشعة الشمسية، لكن تلك النسبة تختلف اختلافاً كبيراً من مكان لآخر ومن وقت لآخر تبعاً لاختلاف درجة العرض ونسبة تغيم السماء. فقد وجد مونتيث أن نسبة الأشعة المنتشرة تتراوح في الأيام ذات السماء الصافية بين ١٦,٥٪ و ٢٨٪. إلا أن كراو (Crowe) قد وجد أن نسبة الأشعة المنتشرة تزيد كثيراً عن الأشعة المباشرة في الأيام العادية في مدينة ليرويك (Lerwick) (٩٠، ٦٠° شمالاً) حيث تصل نسبة الأشعة المنتشرة أكثر من ٦٤٪ من الإشعاع الشمسي في فصل الصيف، أما في الشتاء فإن نسبتها ترتفع إلى أكثر من ٧٥٪ (Crowe, P. R., 1971, p.32). ولا تشكل أشعة الشمس المنتشرة في مدينة طشقند ذات السماء الصافية سوى ٢٤٪ من الإشعاع الشمسي، لكن نسبتها تصل إلى أكثر من ٦٢٪ في خليج تيخايا (Tikhaya) ذى الغيوم الكثيرة.

(٣-٣) انعكاس الأشعة:

يعرف معامل انعكاس الأشعة بأنه النسبة بين الأشعة التي يعكسها الجسم إلى مجموع الأشعة التي تصل إليه. فإذا كان معامل الإنعكاس من جسم معين ١٥٪، فإن ذلك يعني أن ١٥٪ من الأشعة التي تصل ذلك السطح يقوم بعكسها إلى أعلى. وبالرغم من أن قطيرات الماء العالقة في الغلاف الجوي وغيرها من البلورات الثلجية والشوائب تقوم بعكس جزء من الإشعاع الشمسي، إلا أن السحب هي العامل الرئيس الذي يعكس الجزء الأكبر منه. ولعل كلاً منا قد لاحظ أن ظل بعض السحب السميكة المنخفضة يبدو واضحاً على سطح الأرض مما يدل على أنها تعكس كل الأشعة الشمسية التي تسقط عليها. ويزيد معامل انعكاس الأشعة الشمسية من سحب المزن الركامي (Cumulonimbus) أحياناً على ٩٠٪، ولهذا فإن القليل من الإشعاع الشمسي المباشر يصل سطح الأرض في الأيام التي تكون السماء فيها ملبدة بالغيوم. لكن السحب الرقيقة والشديدة الارتفاع لا تعكس إلا

النزر اليسير بينما يصل معظم الإشعاع الشمسي إلى سطح الأرض. ويمكن القول بوجود علاقة قوية بين معامل انعكاس الأشعة من السحب وبين سمكها وارتفاعها كما هو موضح في (الجدول ٥).

جدول (٥) العلاقة بين نسبة تغيم السماء ونوع الغيوم ومعامل انعكاس الإشعاع الشمسي

نوع السحب	نسبة تغيم السماء	الأشعة المعكوسة / الأشعة التي تصل السطح (معامل انعكاس الأشعة)
ركام طبقي	مغطاة كلها بالسحب	٥٦٪ - ٨١٪
طبقي متوسط الارتفاع	بالسماء فجوات	١٧٪ - ٣٤٪
طبقي متوسط الارتفاع	مغطاة كلها بالسحب	٣٩٪ - ٥٩٪
طبقي عالي	مغطاة كلها بالسحب	٤٤٪ - ٦٤٪

ويتراوح معامل انعكاس الأشعة من السحب عموماً بين ٢٠٪ من السحب المرتفعة و٨٠٪ من السحب السميكة المنخفضة. والعلاقة بين معامل انعكاس الأشعة من السحب وسمك تلك السحب علاقة طردية. وبما أن المعدل العام لنسبة تغطية السماء بالسحب في العالم لا تزيد على ٥٤٪، فإن ٢٤٪ من الإشعاع الشمسي ينعكس من تلك السحب، علماً بأن السحب تعكس الأشعة من مختلف الأطوال.

(٤) معامل انعكاس الأشعة من سطح الأرض

عندما تصل أشعة الشمس إلى سطح الأرض، فإن جزءاً منها ينعكس إلى أعلى ثانية بينما يمتص سطح الأرض الجزء الباقي. ويختلف معامل انعكاس الأشعة على سطح الأرض تبعاً لعوامل انعكاس الأشعة لعوامل متعددة أهمها:

- زاوية سقوط أشعة الشمس
- طبيعة السطح
- لون السطح
- رطوبة التربة
- الغطاء النباتى
- استخدام الأرض

(٤-١) زاوية سقوط أشعة الشمس:

يختلف معامل انعكاس الأشعة الشمسية تبعاً لاختلاف زاوية سقوط الأشعة، فكلما كانت الأشعة مائلة كان معامل الانعكاس أكبر. ولهذا فإن معامل انعكاس الأشعة الشمسية في ساعات الصباح والمساء أكبر منه في بقية النهار، كما أن معامل الأشعة في المناطق المعتدلة والباردة أكبر منه في المناطق المدارية (جدول(٦)).

جدول (٦)

العلاقة بين معامل انعكاس الأشعة الشمسية ودرجة العرض

درجة العرض (ش)	٨٠	٧٠	٦٠	٥٠	٤٠	٣٠	٢٠	١٠	٠
	٩٠	٨٠	٧٠	٦٠	٥٠	٤٠	٣٠	٢٠	١٠
معامل الإنعكاس	٦١	٤٦	٢٤	١٤	١٢	١٠	١٠	٩	٨

(٤-٢) طبيعة السطح:

تعكس الأسطح الملساء المصقولة أشعة الشمس بفعالية أكبر من الأسطح الخشنة، ولهذا فإن معامل انعكاس الأشعة من المناطق السهلية المنبسطة يفوق معامل الانعكاس من الهضاب والجبال الوعرة.

(٤-٣) لون السطح:

الأسطح ذات اللون الفاتح كالرمال الصفراء والترب فاتحة اللون أكثر قدرة على عكس أشعة الشمس من الأسطح غامقة اللون مثل الترب السوداء والسمراء والصخور البازلتية والغرانيتية. ويعد هذا العامل من عوامل الضبط الدقيقة في النظام الأرضي، فالمناطق الصحراوية التي تمتاز بسماء صافية وكميات وفيرة من الإشعاع الشمسي قد وهبها الله سطوحاً رملية فاتحة اللون وذات معامل انعكاس مرتفع يصل إلى ٣٠٪. ولو كان لون السطح في تلك المناطق غامقاً لارتفعت درجة حرارتها أكثر مما هي عليه الآن بكثير.

(٤-٤) رطوبة التربة:

كلما كانت رطوبة التربة مرتفعة كان معامل انعكاس الأشعة منها أقل. ولعل انخفاض نسبة الرطوبة في أوراق النباتات الناشفة هو الذي يجعل معامل انعكاس الأشعة من الحقول الزراعية الناضجة أكبر منه في الحقول الخضراء ذات الأوراق الغضة والغنية بالرطوبة.

(٤-٤) الغطاء النباتي:

تؤثر تغطية سطح التربة بالنباتات على معامل انعكاس الأشعة، إلا أن شدة التأثير تتوقف على عدد من العوامل المرتبطة بالغطاء النباتي نفسه، وأهمها عاملان هما نوع النبات، ومرحلة نموه. فبعض النباتات ـ بحكم طبيعتها، أو تبعاً لنظام زراعتها، تكون متقاربة كثيراً مثل حقول القمح والشعير والذرة والأرز وغيرها، بينما تزرع بعض المحاصيل على مسافات متباعدة مثل الأشجار والخضروات. ولهذا فإن نسبة سطح التربة المعرض للشمس مباشرة تختلف تبعاً لذلك. كما أن مرحلة نمو النباتات تؤثر على نسبة تغطيته لسطح الأرض من جهة وعلى الخصائص الفسيولوجية للنبات ومقدرته على عكس الأشعة.

(٤-٥) طبيعة استخدام الأرض:

يختلف معامل انعكاس الأشعة من سطح الأرض اختلافاً كبيراً تبعاً لاختلاف طبيعة استغلال الإنسان لذلك السطح، فمعامل انعكاس الأشعة من أسطح البيوت المدهونة بالقار، ومن الطرق المعبدة، والملاعب الرياضية، وغيرها يختلف عن معامل انعكاس الأشعة من الأراضي المزروعة أو المحروثة. ويبين الجدول (٧) معامل انعكاس الأشعة من عدد من الأسطح الطبيعية.

ويظهر في معامل انعكاس الأشعة من سطح الأرض اختلافات فصلية واضحة خاصة في المناطق المعتدلة والباردة، نتيجة الاختلافات التي تحدث في زاوية سقوط أشعة الشمس، وخصائص سطح الأرض والغطاء النباتي. ويقدر معامل انعكاس الأشعة من سطح الأرض بشكل عام بحوالى ٨٪ فقط.

(جدول ٧) معامل انعكاس الأشعة من بعض السطوح

السطح	معامل الانعكاس٪	السطح	معامل الانعكاس٪	السطح	معامل الانعكاس٪
المسطحات المائية		مناطق جرداء		أسطح طبيعية	
شتاء: خط	٦	وترب	٩٥-٧٥	الصحراء	٣٠-٢٥
الاستواء	٩	ثلج حديث	٧٠-٤٠	السافانا (الفصل	٣٠-٢٥
درجة عرض ٣٠	٢١	السقوط	٣٠-٢٠	الجاف)	٢٠-١٥
درجة عرض ٦٠	٦	ثلج سقط منذ	١٥- ٥	السافانا (الفصل	٢٠-١٠
صيفاً: خط	٦	بضعة أيام	٢٠-١٠	الرطب)	٢٠-١٠
الاستواء	٧	كثبان رملية جافة	١٠- ٥	الحقول الخضراء	١٥- ٥
درجة عرض ٣٠		كثبان رملية رطبة		الغابات النفضية	٢٠-١٥
درجة عرض ٦٠		ترب سوداء		الغابات	٢٥-١٥
		ترب رمادية رطبة		الصنوبرية	
		أو صلصالية		التندرا	
		طرق معبدة		المحاصيل الزراعية	

(٥) معامل انعكاس الأشعة من الغلاف الجوي وسطح الأرض:

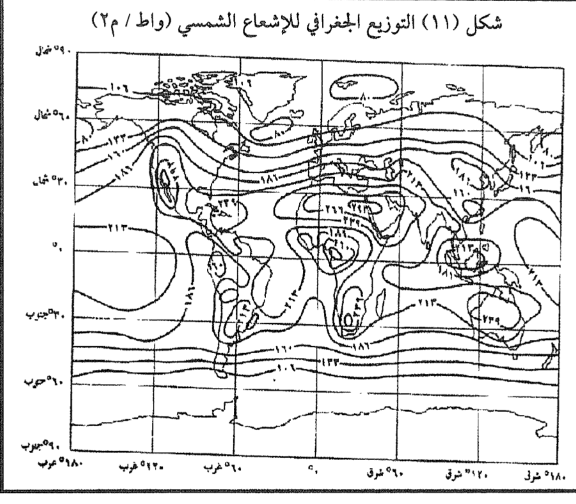
ينعكس جزء كبير من الإشعاع الشمسي أثناء مروره في الغلاف الجوي سواء من قبل السحب وبخار الماء أو الشوائب العالقة في الهواء، كما أن جزءاً آخر ينعكس من سطح الأرض. ولهذا فإن من الضروري لمعرفة الطاقة المتوفرة في الغلاف الجوي وعلى سطح الأرض أن نقدر معامل انعكاس الأشعة من سطح الأرض والغلاف الجوي معاً. وقد ساعدت الأقمار الاصطناعية على قياس معامل انعكاس الأشعة الشمسية من الغلاف الجوي وسطح الأرض معاً، خاصة وأن تلك الأقمار تدور على ارتفاعات تقع خارج نطاق الغلاف الجوي. وقد قدمت تلك الوسائل الحديثة لنا معلومات قيمة – ليس عن مجمل انعكاس الأشعة من الغلاف الجوي وسطح الأرض فحسب – بل عن

الاختلافات الإقليمية لمعامل الانعكاس خاصة بين المناطق الاستوائية والمدارية والمعتدلة والقطبية، وفي تقدير الموازنة الإشعاعية لسطح الأرض والغلاف الجوي. وقد تطورت معلوماتنا عن معامل انعكاس الأشعة من سطح الأرض والغلاف الجوي تطوراً كبيراً بفضل تطوير أجهزة الرصد التي تحملها تلك الأقمار، والتي أصبحت تستطيع أن تقيس الإشعاع الأرضي في الليل والنهار وفي جميع الظروف الجوية (شكل ٣-٥). وقد كان قياس معامل انعكاس الأشعة الشمسية من الغلاف الجوي قبل ذلك صعباً، نظراً لأن جزءاً كبيراً من الأشعة التي يعكسها الغلاف الجوي على ارتفاع معين يعود فيعكسها إلى أسفل مرة أخرى، ويقدر معامل انعكاس الأشعة من سطح الأرض والغلاف الجوي معاً بـ ٣٥٪ تقريباً.

(٦) توزع الإشعاع الشمسي على سطح الأرض:

يختلف مقدار ما يصل سطح الأرض من الأشعة الشمسية من مكان لآخر اختلافاً كبيراً، فالأشعة الشمسية التي تصل المناطق المدارية في الصحراء الكبرى والجزيرة العربية تصل إلى ٢٢٠ كيلو لينلي في السنة، بينما لا يصل المناطق الباردة والقطبية إلا النزر القليل (شكل ١٠). ولعل الاختلاف الكبير في وفرة الإشعاع الشمسي بين المناطق المدارية والقطبية هو المحرك الرئيس للدورة العامة للغلاف الجوي لكي تنقل فائض الطاقة من المناطق المدارية إلى المناطق القطبية.

شكل (١١) التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي (واط / م٢)



وأهم العوامل التي تتحكم في معدل الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض هي:

- زاوية سقوط أشعة الشمس
- طول الليل والنهار.
- صفاء الجو وتغيم السماء
- اتجاه السفوح الجبلية ودرجة انحدارها.

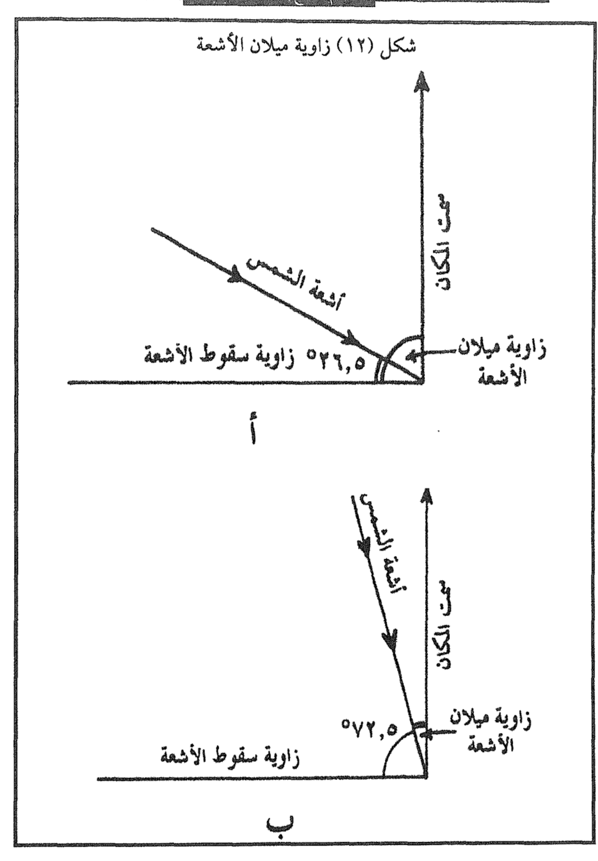
(٦-١) زاوية سقوط أشعة الشمس:

تعرف زاوية سقوط الأشعة بأنه الزاوية المحصورة بين أشعة الشمس وسطح المكان، وهي تتراوح ما بين صفر عندما تكون أشعة الشمس ملامسة تماماً لسطح المكان، و٩٠° عندما تكون الأشعة عمودية تماماً. فالزاوية (س) في الشكل (١١أ) تساوي ٥ ,٢٦°، وهي تمثل زاوية سقوط أشعة الشمس على خط عرض ٤٠° شمالاً يوم الانقلاب الشتوي (٢١ يناير)، أي عندما تكون أشعة الشمس عمودية على مدار الجدي (٥ ,٢٣° جنوباً). وتبلغ الزاوية (ع) في الشكل (١١ ب) ٥ ,٧٢° وهي تمثل زاوية سقوط الأشعة على خط العرض نفسه يوم الانقلاب الصيفي (٢١ يونيو)، أي عندما تكون الشمس عمودية على مدار السرطان.

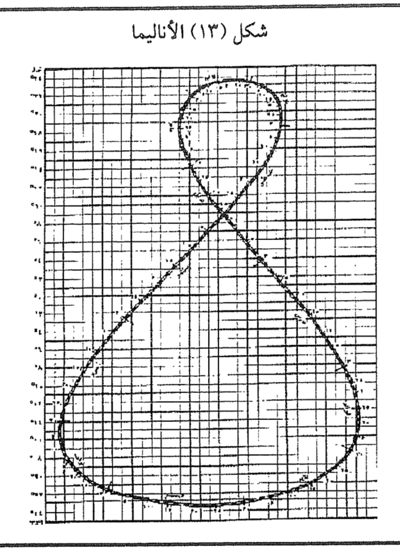
وتقترن بزاوية سقوط الأشعة زاوية أخرى تعرف بزاوية ميلان الأشعة، وهي الزاوية التي تكمل زاوية سقوط الأشعة، أي أنها الزاوية المحصورة بين الأشعة وسمت المكان. فزاوية ميلان الأشعة تساوي ٥ ,٦٣° في الشكل (١١أ)،وتساوي ٥ ,١٧° في الشكل (١١ ب).

وتختلف زاوية سقوط الأشعة من مكان لآخر، ومن يوم لآخر، تبعاً لاختلاف موقع الشمس على درجات العرض المختلفة (declination). ونستطيع أن نحدد موقع الشمس في أي يوم من أيام السنة باستخدام الأناليما (Analema). وهي عبارة عن رسم بياني خاص يبين موقع الشمس على درجات العرض المختلفة في كل يوم من أيام السنة (شكل ١٢). فالشمس تكون عمودية على خط عرض ١٩ شمالا يوم ١٥ مايو، وعلى خط عرض ١٣ جنوباً يوم ١٥ فبراير، وهكذا.

شكل (١٢) زاوية ميلان الأشعة

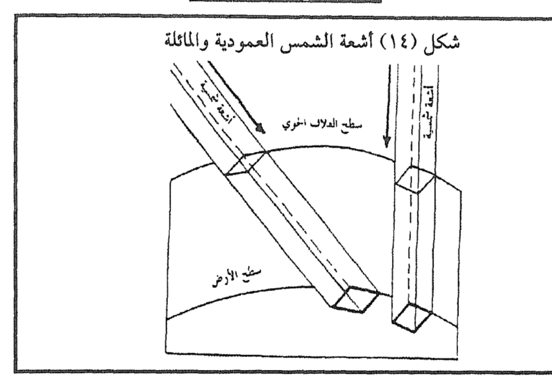


شكل (١٣) الأناليما



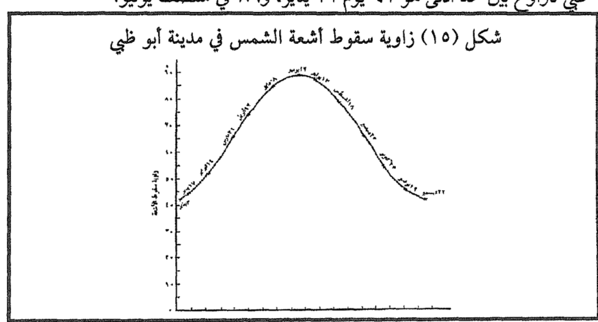
وتكمن أهمية زاوية سقوط الأشعة في كونها تتحكم بشدة الأشعة وقوتها. فكلما كانت الأشعة التي تصل سطح الأرض عمودية أو قريبة من العمودية كانت تلك الأشعة أقوى وأشد تركيزاً. ولعل ذلك يعود إلى سببين رئيسيين هما:

- تقطع الأشعة العمودية في الغلاف الجوي مسافة أقصر من المسافة التي تقطعها الأشعة المائلة وهي لهذا أقل عرضة للضياع بفعل عمليات الانعكاس والامتصاص والانتشار التي تحدث في الغلاف الجوي.
- تتوزع حزم الأشعة العمودية بعد أن تصل سطح الأرض على مساحة قليلة، أما الأشعة المائلة فإنها تتوزع على مساحة أكبر فتصبح أضعف وأقل تركيزاً (شكل١٤).



شكل (١٤) أشعة الشمس العمودية والمائلة

وبما أن أشعة الشمس تصل المناطق المدارية عمودية أو شبه عمودية معظم أيام السنة فإن شدة الإشعاع الشمسي في تلك المناطق أقوى منها في أي مكان آخر من سطح الأرض. فكما هو مبين في الشكل (١٤) فإن زاوية سقوط أشعة الشمس في مدينة أبو ظبي تتراوح بين حد أدنى هو ٤٢° يوم ٢١ يناير، و٨٩° في منتصف يونيو.



شكل (١٥) زاوية سقوط أشعة الشمس في مدينة أبو ظبي

لا تختلف زاوية سقوط أشعة الشمس تبعاً لاختلاف الفصول وحركة الشمس

الظاهرية فحسب بل إنها تختلف من ساعة لأخرى أثناء النـهار أيضـاً، فـهي تبـدأ مائلة في ساعات الصباح الأولى ثم تأخذ في الزيادة كلما ارتفعت الشـمس في كبـد السماء إلى أن تبلغ أعلى حد لها عند الظهر، ثم تأخذ بعد ذلك في التنـاقص، إلى أن تصبح أسفل الأفق عند المغيـب. ولهـذا يظـهر في الإشـعاع الشمسـي دورة فصليـة وأخرى يومية تبعاً لاختلاف زاوية سـقوط الأشـعة.ويؤثـر ميـلان أشـعة الشـمس تأثيراً كبيراً على طول مسارها في الغلاف الجوي فمسار الأشعة وقـت الشـروق أو الغروب – يزيد عن مسارها وقت الظهر بـ ٩ ,١ ضعفاً.

(٦-٢) اختلاف طول الليل والنهار:

يلعب اختلاف طول النهار دوراً حاسماً في اختلاف كميـة الإشـعاع الشمسـي الـتي تصل سطح الأرض، فطول النهار في المناطق المداريـة لا يختلـف كثـيراً بـين الصيـف والشتاء. أما في المناطق المعتدلة والباردة، فإن النهار يطول كثيراً في الصيف ويقصر في الشتاء. ويزداد الفرق بين طول الليـل والنـهار كلمـا ازدادت درجـة العـرض. ويعوض النهار الطويل في المنـاطق المعتدلـة والبـاردة أثنـاء فصـل الصيـف، عـن ضعف أشعة الشمس، مما يجعل درجة الحـرارة في أواسـط القـارات تقـترب مـن درجة حرارة المناطق المدارية. أما خلال فصل الشتاء فيحدث العكـس، إذ يجتمـع قصر النهار مع ضعف الأشعة الشمسية المائلة، مما يجعل درجـة الحـرارة تنخفـض انخفاضاً كبيراً.

يؤدي الاختلاف الكبير لزاويـة سـقوط الأشـعة بـين الصيـف والشـتاء في المنـاطق المعتدلة والباردة إلى مضاعفة المدى السـنوي واليومـي للإشـعاع الشمسـي. أمـا في المناطق المدارية – حيث أشعة الشمس عمودية أو شبه عمودية معظم أيام السـنة – فإن الاختلاف القليل في زاوية سقوط أشعة الشمس خلال الفصول الأربعة يجعـل المدى السنوي للإشعاع الشمسي ضئيلاً.

(٦-٣) صفاء الجو ونسبة تغيم السماء:

يساعد الجو النظيف على وصول كميات أكـبر مـن الإشـعاع الشمسـي إلى سـطح

الأرض. أما إذا كان الجو مليئاً بالغبار والرمال والشوائب المختلفة، فإن درجة توصيله للإشعاع تتناقص ويضيع جزء كبير من الإشعاع في الجو. ولهذا فإن المناطق التي يكثر في أجوائها الدخان كالمدن الصناعية الكبرى مثل لندن وطوكيو ونيويورك وغيرها، لا يصلها إلا القليل من الإشعاع الشمسي، خاصة وأن كثرة الدخان والسناج يشجعان على تكوّن نوع خاص من الضباب يعرف باسم الضباب الدخاني (Smog)، وهو أسوأ أنواع الضباب وأكثفها، ولا ينقشع بعد شروق الشمس، ولا عند هبوب الرياح أو هطول الأمطار. ويرجع السبب في عدم انقشاعه إلى ارتباط حدوثه بظهور حالة من الانقلاب الحراري الذي يرتبط باستقرار في حالة الجو، وركود في الرياح مما يحد من انتشار الدخان أفقياً ورأسياً.

وتلعب السحب دوراً هاماً في انعكاس جزء كبير من الإشعاع الشمسي كما أنها تمتص جزءاً آخر تصل نسبته أحياناً إلى ٩٪. ولهذا فإن أكثر مناطق العالم سحباً هي أقلها من حيث كمية الإشعاع الشمسي الذي يصلها مقارنة مع المناطق الأخرى الواقعة على درجات العرض نفسها. ولعل كثرة تغطية السماء بالسحب في المناطق الاستوائية، هي التي جعلت الأشعة التي تصل المناطق المدارية ذات السماء الصافية والشمس الساطعة، أكثر من الأشعة التي تصل المناطق الاستوائية بكثير.

(٦-٤) اتجاه السفوح الجبلية ودرجة انحدارها:

يبدو أن لاتجاه السفوح الجبلية ودرجة انحدارها تأثير كبير على معدل الإشعاع الشمسي الذي يصل تلك السفوح، وعلى طول مدة الشروق، خاصة في المناطق المعتدلة والباردة. أما في المناطق المدارية، فإن أثر هذا العامل يبدو محدوداً لأن أشعة الشمس تظل عمودية في معظم أيام السنة، مما يجعل السفوح الشمالية والجنوبية معرضة لتلك الأشعة بدرجة متساوية تقريباً، كما أن طول مدة الشروق لا يختلف كثيراً. أما في المناطق المعتدلة والباردة الواقعة في النصف الشمالي، فإن السفوح الشمالية والجنوبية تكون معرضة لأشعة الشمس المباشرة، بينما تبقى أجزاء كبيرة من السفوح الشمالية محجوبة عنها، ولا يصلها إلا أشعة منتشرة، أو منكسرة من السفوح المقابلة، كما أن السفوح الجنوبية تتعرض لأشعة الشمس مدة أطول من السفوح

الشمالية. وتتحكم درجة انحدار السفوح في تحديد زاوية سقوط الأشعة، فبعض السفوح شديدة الانحدار قد تسقط أشعة الشمس عليها بزاوية قائمة، مما يجعل الإشعاع الشمسي الذي يصلها أكثر من المناطق السهلية المنبسطة المحاذية لها خاصة في ساعات الصباح والغروب حيث تكون أشعة الشمس شديدة الميلان (جدول٨).

جدول (٨) زاوية سقوط الأشعة على سفوح مختلفة

الوقت	الأشعة التي تصل السطح (سعر سم -٢ اليوم -١)		
	سهول منبسطة	سفوح جنوبية درجة انحدارها ٢٠°	سفوح شمالية درجة انحدارها ٢٠°
٢٢ حزيران	٥٧٧	٥٩٠ (١٠٢٪)	٤٩٥ (٨٦٪)
٢١ آذار	٣١٥	٤٠٨ (١٢٩٪)	١٩١ (٦١٪)
٢٢ كانون أول	٦٨	١٣١ (١٩٣٪)	٢ (٣٪)

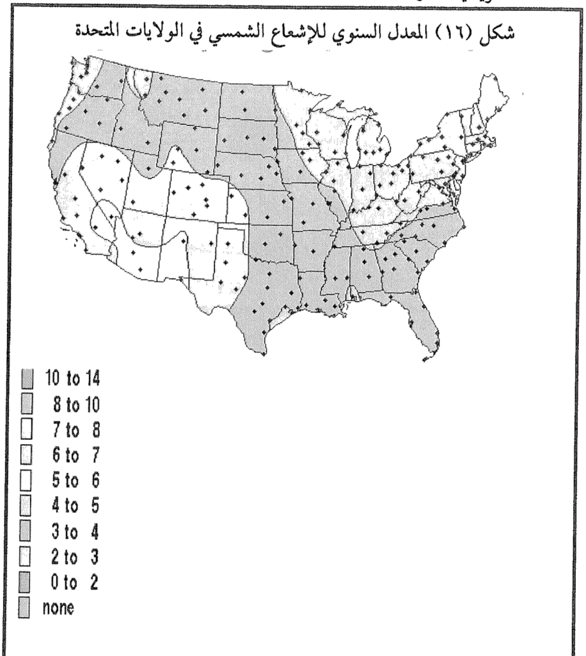
وقد كان لهذه الظاهرة أثر كبير على اختيار مواقع الكثير من القرى والمستوطنات البشرية على سفوح جبال الألب، حيث أقيمت معظم تلك القرى في البقاع التي تكون زاوية سقوط أشعة الشمس عليها أكبر من غيرها، ومدة شروق الشمس فيها أطول. أما السفوح التي تصلها أشعة الشمس مائلة، فإن كثيراً من المزارعين يبتعدون عن السكن فيها. وخير مثال على ذلك ما يلاحظ في منطقة تشينو Ticino الواقعة في جبال الألب السويسرية، حيث تواجه الأودية الجنوبية أشعة الشمس لمدة طويلة نسبياً، إلى الحد الذي ترتفع فيه درجات الحرارة بصورة تسمح بزراعة محاصيل شبه مدارية، في حين أن السفوح المعاكسة لها، والواقعة في الظل، لا تسمح إلا بزراعة حشائش الأعلاف. ونظراً لاختلاف طبيعة النشاط الزراعي اختلفت كثافة السكان وحجم القرى.

ينعكس الاختلاف في الإشعاع الشمسي بين السفوح الشمالية والجنوبية الواقعة في المناطق المعتدلة والباردة على درجة حرارة التربة، وعلى احتمالات الصقيع

ومستوى خط الثلج الدائم، وغيره، فالفرق في درجة حرارة التربة، بين السفوح الشمالية والجنوبية لجبال الألب يصل إلى ١٠°م، وفي ولاية ويسكنس (Wisconsin) الأمريكية يصل فصل النمو على السفوح الجنوبية إلى ١٤٦ يوماً، بينما يتناقص إلى ٥٣ يوماً على السفوح الشمالية. والغطاء النباتي السائد على السفوح الشمالية للسلاسل الجبلية التي تقع في العروض المعتدلة الباردة هي الغابات الصنوبرية، بينما تسود الغابات النفضية على السفوح المعتدلة.

أنشطة الفصل الثاني

النشاط الأول: يبين الشكل (١٦) المعدل السنوي للإشعاع الشمسي في الولايات المتحدة الأمريكية للفترة ١٩٦١ـ ١٩٠٠.

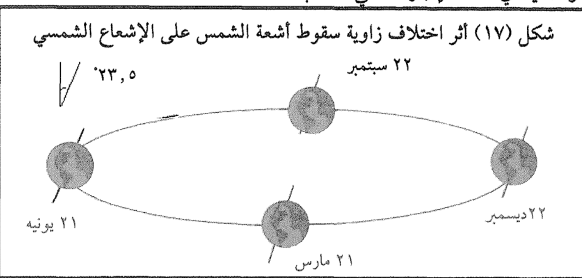


شكل (١٦) المعدل السنوي للإشعاع الشمسي في الولايات المتحدة

والمطلوب هو عرض ذلك الشكل في قاعة التدريس، وتقسيم الطلبة الى مجموعات تركيز (Focus Groups) ثم قيام رئيس كل مجموعة بتقديم التحليل الخاص بمجموعته لكل طلبة الصف على أن يتضمن ذلك تفسير التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي وبيان العوامل المؤثرة عليه.

النشاط الثاني: يمثل الشكل (١٧) أثر اختلاف زاوية سقوط أشعة الشمس على الإشعاع الشمسي، والمطلوب هو تحليل هذا الشكل، وكتابة تقرير قصير عنه، وتضمينه في ملف الإنجاز العلمي للطالب.

شكل (١٧) أثر اختلاف زاوية سقوط أشعة الشمس على الإشعاع الشمسي



الفصل الثالث

درجة الحرارة

الحرارة شكل من أشكال الطاقة، وهي تُعُد أحد عناصر المناخ البالغة الأهمية، فهي تؤثر تأثيرا مباشرا على نشاط الإنسان ولباسه ومسكنه وغذائه، كما تؤثر على العناصر الأخرى للنظام الحيوي. وتؤثر درجة الحرارة على معظم عناصر المناخ مثل الضغط الجوي، والرياح، والتبخر، والرطوبة النسبية، والتكاثف.

(١) تسخين الغلاف الجوي

تعد أشعة الشمس المصدر الرئيس الذي يستمد منه الغلاف الجوي حرارته. إلا أن الإشعاع الشمسي لا يسخن الهواء مباشرة، إذ أن الغلاف الجوي يستمد الجزء الأكبر من حرارته بالوسائل التالية:

- الإشعاع الأرضي
- التوصيل الحراري
- الحمل الحراري
- الحرارة الكامنة لبخار الماء
- التسخين الذاتي للهواء
- نقل الرياح للحرارة

(١-١) الإشعاع الأرضي

تمتاز الأشعة الأرضية بكونها أشعة حرارية طويلة الموجات، وإذا كان الغلاف الجوي يسمح للأشعة الشمسية باختراقه دون أن يمتص منها إلا القليل، فإنه يمتص جزءاً كبيراً من الإشعاع الأرضي، ولا يسمح إلا لجزء صغير بالهروب، فترتفع درجة حرارته تبعاً لذلك. ويمكن تشبيه عمل الغلاف الجوي من هذه الناحية بعمل البيوت الزجاجية التي تستخدم في الزراعة لمنع حدوث الصقيع ولرفع درجة حرارة الجو في داخلها. ويعد هذا العامل أهم العوامل التي تعمل على تسخين الغلاف الجوي.

(١-٢) التوصيل الحراري (Conduction)

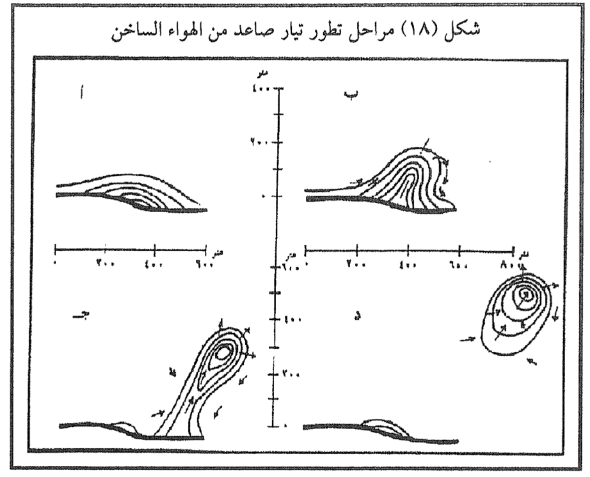
يقتصر تأثير هذا العامل على الطبقة الرقيقة من الهواء التي تلامس سطح الأرض مباشرة، حيث تنتقل الحرارة إلى تلك الطبقة عن طريق التماس المباشر مع سطح الأرض. أما في الليل، وبعد أن يبرد سطح الأرض، فإن الحرارة تنتقل إليه من الهواء الملامس له، مما يخفض حرارة تلك الطبقة ويعمل على تكون الندى أحياناً.

(١-٣) الحمل (Convection)

يعد الحمل من الوسائل الرئيسة لتسخين الغلاف الجوي، خاصة في المناطق القارية التي ترتفع درجة حرارة سطحها خلال النهار كثيراً، مما يؤدي إلى تسخين طبقة الهواء الملامسة له تسخينا شديدا، وإلى ارتفاع جزء من ذلك الهواء على هيئة تيارات صاعدة. ويكفي للتدليل على أهمية هذه العملية في المناطق الصحراوية أن ارتفاع تلك التيارات يصل في بعض أيام الصيف إلى أكثر من ١٥ كم.

تبدأ هذه العملية في العادة بعد أن تشرق الشمس بقليل، ولكنها تشتد وتقوى مع ارتفاع الشمس في كبد السماء حتى تبلغ أقصاها بعيد الظهر بساعة أو ساعتين. وهي تبدأ في الصباح بتكون بعض التيارات الهوائية الصاعدة التي تشبه أعمدة الدخان التي تخرج من مداخن المصانع فوق بعض بقاع سطح الأرض التي تكون درجة حرارتها قد ارتفعت لسبب أو لآخر أكثر من غيرها (شكل ١٨). وبتقدم النهار تزداد هذه العملية شدة، وتتكون فوق سطح الأرض، طبقة كاملة من الهواء المتهيج (Turbulent air). لكن هذه الطبقة تأخذ في الضعف تدريجياً في ساعات المساء وتختفي تماماً في الليل، أو في ساعات الصباح الباكر.

شكل (١٨) مراحل تطور تيار صاعد من الهواء الساخن



تكتسب دراسة هذه الطبقة أهمية كبيرة في مجال الدراسات البيئية خاصة المتعلقة بالتلوث الجوي في المدن الكبيرة وفي المراكز الصناعية، إذ أن لها تأثير مباشر على سمك طبقة الهواء التي ينتشر فيها التلوث الجوي. فعندما تكون هذه الطبقة قليلة السمك في ساعات الصباح الأولى يبقى التلوث الذي يخرج من السيارات ومن المصانع وغيرها مُركّزاً في طبقة الهواء الرقيقة الملامسة لسطح الأرض. أما عندما تكون هذه الطبقة على أشدها، فإن التلوث الجوي ينتشر ضمن طبقة سميكة من الهواء، مما يخفف من نسبة تركزه.

(١-٤) الحرارة الكامنة (Latent Heat)

يستمد الماء عند تبخره الطاقة اللازمة لذلك، من الطاقة المخزونة في المسطح المائي نفسه. إذ أن كل غرام من الماء يحتاج عند تبخره إلى ٥٧٣ سعر حراري. وتعرف الطاقة التي يستخدمها الماء عند تبخره بالحرارة الكامنة للتبخر. وعندما يتكاثف

ذلك البخار في الجو، فإنه يشع نفس الكمية من الطاقة، وتعرف عندئذ بالطاقة الكامنة للتكاثف. فإذا تصورنا المقدار الهائل من الماء الذي يتبخر من المسطحات المائية يومياً ويتكاثف في الغلاف الجوي، فإننا ندرك أهمية هذا العامل في نقل الطاقة من المسطحات المائية إلى الغلاف الجوي.

(١-٥) هبوط الهواء

يكفي لتوضيح أثر هذا العامل أن نبين ماذا يحدث عند ارتفاع متر مكعب من الهواء من سطح الأرض إلى أعلى. ولنفرض أن ذلك المتر من الهواء عبارة عن نظام معزول (Isolated System) بمعنى أنه لا يمتزج بالهواء المحيط به، فلا يعطيه طاقة أو يأخذ منه. فإذا كان سطح الأرض هو مصدر تزويد ذلك الهواء بالطاقة، فإنه قد فقد ذلك المصدر بمجرد ارتفاعه إلى أعلى وانفصاله عن سطح الأرض.

ينتقل ذلك الهواء أثناء ارتفاعه من مستويات ذات ضغط مرتفع إلى أخرى ذات ضغط منخفض. ولهذا، فإنه يتمدد ويزداد حجمه كلما ارتفع إلى أعلى (شكل١٥). وبما أن التمدد هو في حد ذاته عمل يتطلب القيام به طاقة معينة يستمدها من طاقته المحددة التي كان يمتلكها عند انفصاله عن سطح الأرض، فإن ذلك الهواء يبرد بمعدل ثابت يساوي ١° م/ ١٥٠ متراً. ويعرف معدل تناقص درجة حرارة الهواء بهذه الطريقة بمعدل التناقص الذاتي الجاف (Dry Adiabatic Lapse Rate).

وإذا كانت درجة حرارة الهواء تنخفض نتيجة الارتفاع إلى أعلى، فإنها ترتفع نتجة الهبوط من أعلى باتجاه سطح الأرض. إذ أن الهواء ينتقل أثناء هبوطه من مستويات ذات ضغط منخفض إلى أخرى ذات ضغط أعلى فيقل حجمه وتزداد درجة حرارته بمعدل ١° م/ ١٥٠ متراً. فإذا تصورنا ملايين المرات التي يرتفع فيها الهواء إلى أعلى، أو يهبط إلى أسفل في كل لحظة، فإننا ندرك أهمية هذا العامل في تسخين طبقة الهواء القريبة من سطح الأرض.

(١-٦) انتقال الحرارة (Advection)

لا يتطابق المسار اليومي لدرجة الحرارة خلال فصل الشتاء مع المسار اليومي

للإشعاع الشمسي، خاصة في المناطق المعتدلة والباردة، حيث لا يعكس المسار اليومي لدرجة الحرارة الموازنة المحلية للطاقة في المكان نفسه، بل يكون انعكاساً لعوامل أخرى خارجية كوصول كتل هوائية باردة أو غيرها. إذ يترتب على وصول تلك الكتل انخفاض حاد لدرجة الحرارة بغض النظر عن المسار اليومي المعتاد.

يكتسب هذا العامل أهمية خاصة في المناطق الباردة والمعتدلة، خاصة خلال فصل الشتاء. أما في المناطق المدارية كدولة الإمارات ومنطقة الخليج عموماً، فإن دور هذا العامل يبقى محدوداً جداً، نظراً لندرة تأثر تلك المنطقة بالكتل الهوائية الباردة.

(٢) مقاييس درجة الحرارة

نعرض فيما يلي لأهم المقاييس البسيطة لدرجة الحرارة المستخدمة في دراسة المناخ والأرصاد الجوية:

(٢-١) درجة الحرارة العظمى (Maximum Temperature)

درجة الحرارة العظمى هي أعلى درجة حرارة يتم تسجيلها خلال اليوم. وهي تحدث عادة بعيد الظهر، خاصة في المناطق القارية. أما في المناطق البحرية فتحدث عادة بعد الظهر بساعتين أو أكثر.

(٢-٢) درجة الحرارة الصغرى (Minimum Temperature)

تعرف درجة الحرارة الصغرى بأنها أقل درجة حرارة تحدث خلال اليوم، وهي تحدث عادة قبيل شروق الشمس مباشرة، حيث يكون سطح الأرض قد فقد أقصى قدر ممكن من الإشعاع الأرضي.

(٢-٣) المتوسط اليومي لدرجة الحرارة (Mean Daily Temperature)

أفضل أسلوب لحساب المتوسط اليومي لدرجة الحرارة هو حسابه من القراءات الساعية لدرجة الحرارة (Hourly Observations) التي يتم أخذها في كل ساعة من ساعات اليوم (العمود الرابع من الجدول ١٠). الا أن ذلك الأسلوب لا يستخدم إلا في المحطات المناخية من الدرجة الأولى، لكنه يحسب في محطات الدرجتين الثانية

والثالثة بقسمة مجموع درجة الحرارة العظمى والصغرى على اثنين (العمود الخامس من الجدول الذي سبقت الإشارة إليه). ولحسن الحظ، فإن الفرق بين الأسلوبين، كما هو مبين في الجدول المذكور آنفاً فرق طفيف ويمكن التغاضي عنه.

(٢-٤) المتوسط الشهري لدرجة الحرارة العظمى

يحسب المتوسط اليومي لدرجة الحرارة العظمى بقسمة مجموع درجات الحرارة العظمى خلال الشهر على عدد أيام الشهر. فكما هو مبين في العمود الثاني من الجدول (١٠) الذي سبقت الإشارة إليه، فإن المتوسط الشهري لدرجة الحرارة العظمى لشهر مارس عام ١٩٩٨ في مدينة العين يساوي ٣٢,٣° م.

(٢-٥) المتوسط الشهري لدرجة الحرارة الصغرى

يحسب المتوسط الشهري لدرجة الحرارة الصغرى بقسمة مجموع درجات الحرارة الصغرى خلال الشهر على عدد أيام الشهر. وكما هو مبين في الجدول (١٠) سابق الذكر فإن المتوسط الشهري لدرجة الحرارة الصغرى لشهر مارس ١٩٩٨ في مدينة العين يساوي ١٨,١° م.

(٢-٦) المتوسط الشهري لدرجة الحرارة

يمثل المتوسط الشهري لدرجة الحرارة مجموع المتوسطات اليومية لدرجة الحرارة خلال الشهر على عدد أيام الشهر. وكما هو مبين في الجدول (١٠) سابق الذكر فإن المتوسط الشهري لدرجة الحرارة لشهر مارس ١٩٩٨ في مدينة العين يساوي ٢٤,٧° م.

(٢-٧) المدى اليومي لدرجة الحرارة

يحسب المدى اليومي لدرجة الحرارة ـ كما هو مبين في العمود السادس من الجدول (٩) باعتباره الفرق بين درجة الحرارة العظمى ودرجة الحرارة الصغرى.

جدول (٩) المتوسط اليومي والمدى اليومي لدرجة الحرارة

في مدينة العين (١٥ ٢٤ شمالا و ٣٧ ٥٥ شرقا) لشهر مارس ١٩٩٨

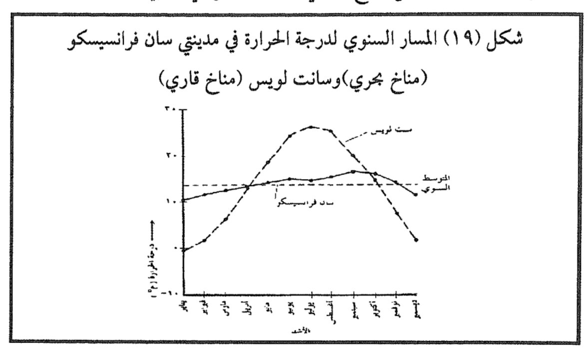
اليوم	درجة الحرارة العظمى	درجة الحرارة الصغرى	المتوسط اليومي لدرجة الحرارة (٢٤ قراءة)	المتوسط اليومي (عظمى وصغرى)	المدى اليومي
١	٣١,٤	٢١,٤	٢٦,١	٢٦,٤	١٠,٠
٢	٢٣,٩	١٤,٩	١٨,٦	١٩,٤	٩,٠
٣	٢٣,٣	١٣,٣	١٧,٣	١٨,٣	١٠,٠
٤	٢٤,٥	١١,٨	١٧,٣	١٨,١	١٢,٧
٥	٢٤,٩	١١,٢	١٧,٢	١٨,٠	١٣,٧
٦	٢٧,٦	١١,٣	١٩,١	١٩,٤	١٦,٣
٧	٢٦,٢	١٧,٤	٢١,٣	٢١,٨	٨.٨
٨	٢٥,٩	١٨,٧	٢١,٠	٢٢,٣	٧,٢
٩	٢٨,٥	١٥,٣	٢١,٧	٢١,٩	١٣,٢
١٠	٢٤,٣	١٣,٩	١٨,٠	١٩,١	١٠,٤
١١	٢٤,٩	١٢,٣	١٧,٨	١٨,٦	١٢,٦
١٢	٢٨,١	١٢,٠	١٩,٦	٢٠,٥	١٦,١
١٣	٢٨,٨	١٣,٥	١٩,٩	٢١,٢	١٥.٣
١٤	٣١,٥	١٤,٦	٢٣,٣	٢٣,١	١٦,٩
١٥	٣٤,٠	١٩,٧	٢٦,٢	٢٦,٩	١٤,٣
١٦	٣٣,٠	٢٠,٧	٢٦,٥	٢٦,٩	١٢,٣
١٧	٣٥,٤	٢٢,٥	٢٨,٦	٢٩,٠	١٢,٩
١٨	٣٥,٠	٢٣,٦	٢٨,٩	٢٩,٣	١١,٤
١٩	٣٤,٤	٢٠,٥	٢٧,٦	٢٧,٤	١٣,٩

اليوم	درجة الحرارة العظمى	درجة الحرارة الصغرى	المتوسط اليومي لدرجة الحرارة (٢٤ قراءة)	المتوسط اليومي (عظمى وصغرى)	المدى اليومي
٢٠	٣٤,٦	١٩,٨	٢٦,٩	٢٧,٢	١٤,٨
٢١	٣٤,٥	١٩,٩	٢٦,٢	٢٧,٢	١٤,٦
٢٢	٣٣,٩	١٨,٨	٢٤,٧	٢٦.٣	١٥,١
٢٣	٣٤,٢	١٥,٩	٢٤,٣	٢٥,٠	١٨,٩
٢٤	٣٧,٠	١٥,٣	٢٧,٧	٢٦,١	٢١,٣
٢٥	٣٧,٠	٢١,٢	٢٨,٩	٢٩,١	١٥,٨
٢٦	٣٩,٠	٢٣,٨	٣١,٤	٣١,٤	١٥,٢
٢٧	٤٠,٠	٢٦,٠	٣٢,٥	٢٨,٠	١٤,٠
٢٨	٤١,٧	٢٦,٦	٣٣,٦	٣٤,١	١٥,١
٢٩	٤٢,٩	٢٥,٩	٣٤,٩	٣٤,٤	١٧,٠
٣٠	٤١,٩	١٩,٥	٣١,٤	٣٠,٧	٢٢,٤
٣١	٣٩,٣	١٨,٥	٢٨.١	٢٨,٩	٢٠,٨
المتوسط	٣٢,٣	١٨,١	٢٤,٧	٢٥,٢	١٤,٣

(٢-٨) المدى السنوي لدرجة الحرارة

المدى السنوي لدرجة الحرارة هو الفرق بين متوسط درجة حرارة أبرد الشهور وأكثرها حرارة. وهو يعكس المدى الفصلي لدرجة الحرارة، فالمناطق ذات الفرق الحراري الكبير بين الصيف والشتاء تمتاز بمدى سنوي كبير مثل المناطق القارية. أما في المناطق البحرية، فإن المدى السنوي لدرجة الحرارة صغير نسبياً، وذلك للدور الكبير الذي تقوم به المسطحات المائية في خزن الطاقة صيفاً واستغلالها شتاءً. يبدو ذلك واضحا في الشكل (١٩) الذي يبين المسار السنوي لدرجة الحرارة في مدينة سان فرانسيسكو (الولايات المتحدة) التي تمثل المناخ

البحري ذا المدى الحراري البسيط، ومدينة سانت لويس التي تقع في وسط الولايات المتحدة وتمثل المناخ القاري ذا المدى الحراري الكبير.



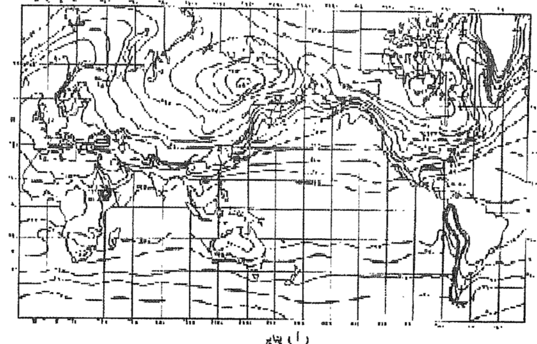
شكل (١٩) المسار السنوي لدرجة الحرارة في مدينتي سان فرانسيسكو (مناخ بحري)وسانت لويس (مناخ قاري)

(٣) التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة

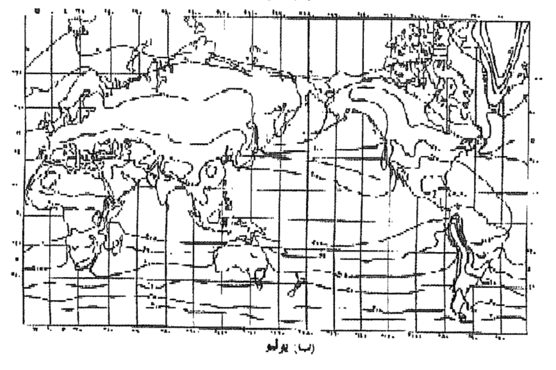
يبين الشكل (٢٠) التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة في كل من الصيف (يوليو) والشتاء (يناير). وأهم المظاهر الرئيسة لذلك التوزيع هي:

- أكثر مناطق العالم حرارة في الصيف هي المناطق المدارية، إذ يزيد متوسط درجة حرارتها على ٣٠° م، ويتجاوز ٣٥° م في بعض المناطق. أما المناطق الاستوائية فتقل درجة حرارتها عن ٢٥° م.
- تبقى درجة حرارة المناطق الاستوائية مرتفعة خلال فصل الشتاء كما كان الحال عليه في الصيف، بينما تنخفض درجة حرارة المناطق المدارية إلى أقل من ١٥° م.
- تتجه خطوط الحرارة المتساوية موازية بشكل عام لدوائر العرض خاصة خلال فصل الصيف، في النصف الشمالي حيث يقل تأثير التداخل بين اليابسة والماء.

شكل (٢٠) التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة



(أ) يناير



(ب) يوليو

- تقل درجة الحرارة بشكل عام كلما اتجهنا نحو المناطق القطبية، ويكون معدل التناقص سريعاً خلال فصل الشتاء وبطيئاً خلال فصل الصيف.
- تقع أبرد الأماكن خلال فصل الشتاء في أواسط القارات بعيداً عن التأثيرات البحرية، فتنخفض درجة الحرارة في شمال شرق اوراسية دون -٠ , ٥٠° م، بينما تنخفض في جزيرة جرينلندة وشمال أمريكا الشمالية إلى أقل من -٠ , ٤٠° م.
- لا يوجد نظير لهذا التطرف الحراري الشديد في النصف الجنوبي وذلك بسبب ارتفاع نسبة المسطحات المائية.

ويمكن تلخيص أهم العوامل التي تؤثر على التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة على سطح الأرض فيما يأتي:

- درجة عرض المكان
- توزيع اليابس والماء
- التضاريس
- التيارات البحرية
- الرياح السائدة
- مواجهة أشعة الشمس.

(٣-١) درجة عرض المكان

تؤثر درجة العرض على التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة من خلال تأثيرها على التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي. ولهذا فإن درجة حرارة المناطق المدارية وهي مناطق تصلها أشعة الشمس عمودية أو شبه عمودية في معظم أيام السنة، تزيد كثيراً عن درجة حرارة المناطق المعتدلة والباردة التي تصلها أشعة الشمس مائلة، خاصة خلال فصل الشتاء.

وقد أدرك القدماء منذ أيام اليونان هذه الظاهرة وقاموا بتقسيم العالم إلى أقاليم حرارية معينة هي المناطق الاستوائية، والمدارية، والمعتدلة، والباردة. ويبرز في شكل (٢٠) التأثير الكبير لدرجة العرض في شكل خطوط الحرارة المتساوية وامتدادها العام من الغرب إلى الشرق وفي التدرج الحراري من المناطق المدارية إلى القطبية.

(٣-٢) توزيع اليابس والماء

لو كانت درجات العرض هي العامل الوحيد المؤثر في التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة، لكانت خطوط تساوي الحرارة تمتد في خطوط مستقيمة موازية لدوائر

العرض تماماً. إلا أن عوامل أخرى تؤثر في التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة، وتجعل تلك الخطوط تنحرف في مواقع كثيرة عن اتجاهها العام الذي يمتد من الغرب إلى الشرق. وأبرز هذه العوامل هي تداخل اليابس والمسطحات المائية، والاختلاف بين اليابس والماء في الخصائص الحرارية. ولذا، فإن خطوط الحرارة المتساوية أكثر استقامة وأقل تعرجاً في النصف الجنوبي منها في النصف الشمالي، وذلك نظراً لأن مظاهر السطح في النصف الجنوبي أكثر تجانساً، كما أن اليابس والمسطحات المائية أقل تداخلاً.

فالبحار والمحيطات تشكل مخازن ضخمة للحرارة بينما اليابس لا يستطيع أن يختزن إلا القليل، ولفترة زمنية محدودة. ولهذا فإن اليابس يسخن في النهار بسرعة أكبر من الماء، كما أنه يبرد في الليل بشكل أسرع. وبالتالي فإن درجة حرارة المسطحات المائية في النهار أقل من اليابس، أما في الليل فأنها أعلى. ولا ينعكس هذا الاختلاف بين اليابس والماء على الدورة اليومية لدرجة الحرارة، بل إنه يمتد ليشمل الدورة الفصلية أيضا ً، فاليابس في الصيف أسخن من المسطحات المائية وأبرد منها في الشتاء. ويبدو واضحاً في شكل (٢٠) الذي سبقت الإشارة إليه أن أقل درجات الحرارة في العالم توجد في الجزء الشمالي من سيبيريا حيث يوجد أكبر مركز لليابس على سطح الأرض. ويلاحظ من خريطة توزيع درجة الحرارة في يناير أن خطوط الحرارة المتساوية تنحني نحو الجنوب في النصف الشمالي فوق القارات الباردة، ونحو الشمال فوق المحيطات الأكثر دفئاً. أما في يوليو فإن خطوط الحرارة المتساوية تنحرف نحو الشمال فوق القارات ونحو الجنوب فوق المسطحات المائية الأقل حرارة.

وأهم الأسباب التي تدعو إلى وجود اختلافات في درجة الحرارة بين اليابس والماء هي:

أ - تبلغ الحرارة النوعية للماء ثلاثة أضعاف الحرارة النوعية لليابس ولهذا فأن الغرام الواحد من الماء يحتاج لرفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة إلى ثلاثة أضعاف الحرارة التي يحتاجها غرام واحد من اليابس[1].

---

(١) تعرف الحرارة النوعية لأية مادة باعتبارها الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من تلك المادة درجة مئوية واحدة وتستخدم الحرارة النوعية في حساب السعة الحرارية لتلك المادة (Heat Capacity)، باعتبار السعة الحرارية تساوي الحرارة النوعية مضروبة في الكتلة

ب ـ يتحول الجزء الأكبر من الأشعة التي تصل اليابس إلى حرارة حسية تستغل في رفع درجة حرارته، بينما يستغل جزء كبير من الأشعة التي تصل المسطحات المائية في عملية التبخر. ولا شك أن جزءاً من الأشعة التي تصل اليابس يستغل في عملية التبخر من التربة والنتح من النباتات، إلا أنه يبقى ضئيلاً إذا قورن بما يستغل في عملية التبخر من المسطحات المائية والذي يصل إلى ٢٥٪ من الأشعة التي تصلها.

جـ ـ تتوزع الحرارة في اليابس على طبقة سطحية رقيقة، فالدورة اليومية لدرجة الحرارة لا تتوغل في التربة إلا بضعة سنتمترات، بينما لا يزيد سمك الطبقة التي تتأثر بالدورة السنوية عن بضعة أمتار. أما في المسطحات المائية فإن التيارات الرأسية تعمل على خلط الماء كله مما يجعل الحرارة تتوزع على كتلة كبيرة، كما تقوم التيارات البحرية الأفقية بمزج مياه المناطق الحارة والباردة معاً.

د ـ لا تتوغل أشعة الشمس في التربة إلا بضعة ميليمترات بينما تتوغل في المسطحات المائية حتى عمق عشرة أمتار تقريباً.

هـ ـ تكثر في التربة المسامات المملوءة بالهواء، خاصة الترب الحصوية والرملية، والهواء موصل رديء للحرارة على النقيض من الماء تماماً.

و ـ يكثر في أجواء المناطق البحرية الرطبة بخار الماء، مما يقلل من مقدار الإشعاع الذي يصل إليها، ويمنع جزءاً كبيراً من الإشعاع الأرضي من الهروب إلى أعلى.

تؤدي هذه الاختلافات بين اليابسة والماء إلى اختلافات كثيرة، ليس في درجة الحرارة فحسب، بل وفي عناصر المناخ الأخرى مثل الضغط الجوي والرياح، كما تتسبب في نشوء دورات جوية محلية في المناطق الساحلية كنسيم البر والبحر.

(٣-٣) التضاريس

نظراً لأن الإشعاع الأرضي هو المصدر المباشر لتسخين الغلاف الجوي الأسفل أو التروبوسفير، فإن من الطبيعي أن تتناقص درجة الحرارة في تلك الطبقة بالإرتفاع إلى أعلى. ويساعد في هذا التناقص عامل آخر هو ازدياد نسبة تغيم السماء في

المناطق الجبلية المرتفعة عنه في السهول المنخفضة. وتؤثر السلاسل الجبلية الكبرى التي تمتد من الغرب إلى الشرق مثل جبال الألب في أوروبا والهيملايا في آسيا على التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة تأثيراً كبيراً، إذ إن تلك الجبال تقف حائلا يحد من حركة الكتل الهوائية القطبية الباردة ويمنع وصولها إلى السهول الساحلية الواقعة جنوبها، مما يحافظ على اعتدال درجة حرارة تلك السواحل خلال فصل الشتاء، ويجعلها مشاتي ممتازة، مثل سواحل الريفيرا الفرنسية والإيطالية، وغيرها. أما في أمريكا الشمالية فان عدم وجود سلاسل جبلية تمتد من الغرب إلى الشرق قد جعل القارة مفتوحة أمام الكتل الهوائية القطبية الباردة التي تتكون في شمال كندا. ولهذا فان الفروق في درجة الحرارة بين المناطق الشمالية والجنوبية من الولايات المتحدة في فصل الشتاء ليست كبيرة أبداً.

(٣-٤) التيارات البحرية:

تمثل التيارات البحرية نطاقات طولية من المياه المتحركة، وهى تظهر بشكل خاص في الطبقة السطحية من مياه البحار والمحيطات، ويشبه جريان المياه فيها حركة الماء في الأنهار البطيئة الواسعة. وأهم العوامل التي تساعد على نشأة التيارات البحرية وتوجه حركتها الرياح السائدة، والاختلافات في درجة حرارة المياه وكثافتها، والاختلافات في منسوب المياه. وتؤثر حركة الأرض الدورانية حول محورها على انحراف التيارات البحرية في النصف الشمالي إلى جهة اليمين، وفي النصف الجنوبي إلى جهة اليسار، ويؤثر شكل السواحل على الحركة العامة للتيارات البحرية.

وعلى الرغم من تعدد العوامل التي تعمل على نشأة التيارات البحرية وتوجه حركتها، إلا أن أكثرها أهمية هي النطاقات الرئيسة للرياح السائدة. ويمكن توضيح ذلك بتتبع الحركة العامة للتيارات البحرية الهامة في المحيط الأطلسي، فالرياح التجارية السائدة في المناطق المدارية بين خطي عرض ١٠ و ٣٠ شمال خط الاستواء وجنوبه تدفع أمامها الطبقة السطحية من مياه الأجزاء الشرقية من المحيط، على شكل تيارين مائيين يتجهان نحو خط الاستواء من الشمال والجنوب. ونظراً لأن هذين التيارين ينتقلان إلى مناطق درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة المناطق التي يأتيان منها، فإنهما يعتبران تيارين باردين يعملان على تلطيف درجة حرارة السواحل التي يمران عليها

(شكل ٢١).

شكل (٢١) التيارات البحرية

عندما يصل هذان التيـاران قريبـاً مـن خـط الاسـتواء، فانـهما يغـيران اتجاهـهما، ويأخذان في التحرك جهة الغرب، ويعرفان ـ عندئـذٍ ـ بالتيـار الاسـتوائي الشـمالي والتيـار الاسـتوائي الجنوبـي. وعندمـا يصـل هـذا التيـاران إلى السـواحل الغربيـة للمحيط، فـان التيـار الاسـتوائي الشـمالي ينحـرف شمـالاً، بينمـا ينحـرف التيـار الاستوائي الجنوبي جهة الجنـوب، ويسـتمران في حركتـهما شمـالاً وجنوبـاً إلى أن يدخلا نطاقي الريـاح الغربيـة في النصـف الشـمالي والجنوبـي فيغـيران اتجاهـهما. ويعرف التيار الشمالي بعد خط عرض ٣٥ شمالاً بتيار الخليج الدافئ، وهو يتحرك قاطعاً المحيط الأطلسي مرة أخرى باتجاه السواحل الغربية والشمالية الغربية لأوربا، ويعرف ـ عندئذ ـ بتيار المحيط الأطلسي الشمالي. ويتفرع منه عندما يصل السواحل الشرقية للمحيط الأطلسي شعبة تتجه جنوباً بمحاذاة الســواحل الغربيـة لإفريقيـة، وتعرف بتيار الكناري البارد.

أما في النصف الجنوبي من المحيط الاطلسي، فإن التيار الاستوائي الجنوبــي بعـد أن يصل السواحل الشرقية لأمريكا الجنوبية، فـان معظمـه يتجـه إلى الجنـوب الغربـي حيث يعرف بتيار البرازيل الدافئ. وعندما يصل خط عرض ٤٠ جنوبا، فإنـه يقـع تحت تأثير الرياح العكسية التي تدفعه شرقا باتجاه السواحل الغربية للطرف الجنوبي من القارة حيث يتجه شمالا ويعرف بتيار بنجويلا البارد.

وتؤثر التيارات البحرية على درجة حرارة السواحل تأثيراً ملحوظاً، فإذا كان التيار دافئاً مثل تيار الخليج، فإنه يرفع درجة حرارة السواحل التي يمر عليـها ويقلـل مـن احتمالات حدوث الصقيع. يبدو هذا واضحاً عند مقارنة درجة حـرارة السـواحل الغربية لاوربـا الـتي تتـأثر بتيـار الخليـج الدافـئ مـع السـواحل الشـرقية لأمريكـا الشمالية، التي يمر عليها تيار لبرادور البارد. فالمعدل الشهري لدرجة حرارة يناير في

مدينة ابورتو البرتغالية هو ٨,٣° م بينما ينخفض في مدينة نيويورك إلى -١° م، علماً بأن المدينتين تقعان على درجة عرض ٤١,٠٧° شمالا. ويبدو التأثر الكبير للتيارات البحرية واضحاً من مقارنة خريطة التيارات البحرية (شكل٢١) مع خريطة التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة (شكل ٢٠). فدرجة حرارة السواحل الغربية للقارات في المناطق المدارية أقل من درجة السواحل الشرقية، لأن الأولى تمر بمحاذاتها تيارات بحرية باردة مثل تياري بنجويلا والكناري في المحيط الاطلسي، بينما تتعرض الثانية لتيارات دافئة مثل تياري الخليج والبرازيل على السواحل الغربية للمحيط الأطلسي.

يتناقص الاختلاف بين درجة حرارة السواحل الشرقية والغربية للمحيط الأطلسي كلما ابتعدنا عن خط الاستواء باتجاه الشمال أو الجنوب، حتى يتلاشى تقريباً عند خط عرض ٣٠. أما إلى الشمال من خط عرض ٤٥، فان الوضع السابق ينعكس تماماً وتصبح درجة حرارة السواحل الغربية لآوروبة أعلى من درجة حرارة السواحل الشرقية لأمريكا الشمالية بكثير، وذلك نظراً لتعرض الأولى إلى تيار الخليج الدافئ، وتعرض الثانية إلى تيار لبرادور البارد، الذي تدفعه الرياح القطبية على طول السواحل الشمالية الشرقية للقارة الأمريكية ويؤدى إلى خفض درجة حرارتها.

(٣-٥) الرياح السائدة

تعتبر الرياح الوسيلة الرئيسة التي تنقل الطاقة من الأماكن ذات الفائض مثل المناطق المدارية والاستوائية، إلى المناطق التي تعانى من عجز في الطاقة مثل المناطق الباردة والقطبية. ولهذا فان درجة الحرارة في أي مكان، تتأثر تأثراً كبيراً بالتقلبات في اتجاه الرياح وتعاقب الكتل الهوائية. فالرياح الغربية والجنوبية الغربية التي تتعرض لها المناطق المعتدلة في الشتاء عامل رئيس في تلطيف درجة حرارة تلك المناطق، بينما يؤدي هبوب الرياح الشرقية والشمالية الباردة إلى انخفاض درجة الحرارة وحدوث الصقيع أحيانا، ولا يقتصر دور الرياح على نقل الحرارة المحسوسة فقط، بل إنها الوسيلة الرئيسة لنقل الحرارة الكامنة من المسطحات المائية المدارية إلى اليابس.

(٣-٦) مواجهة أشعة الشمس

يبدو أثر هذا العامل واضحاً في المناطق الجبلية الوعرة الواقعة في المناطق المعتدلة والباردة حيث تتمتع السفوح الجنوبية في النصف الشمالي المواجهة لأشعة الشمس بدرجة حرارة أعلى من السفوح الشمالية. ويمتد أثر هذا العامل إلى اختلاف درجة حرارة التربة وطول فصل النمو، واحتمالات حدوث الصقيع، وغير ذلك.

(٤) تناقص درجة الحرارة بالارتفاع

تكلمنا ـ فيما سبق ـ عن معدلين لتناقص درجة الحرارة بالارتفاع وهما، معدل التناقص الذاتي الجاف، ومعدل التناقص القياسي. وبينا أن معدل التناقص الذاتي الجاف ثابت يساوي ١° م/ ١٠٠متر، وأن معدل التناقص القياسي يساوي ١° م/ ١٥٠ متراً. ويكمن الفرق بينهما في أن معدل التناقص الذاتي يفترض عدم حدوث أي تكاثف لبخار الماء أثناء ارتفاع الهواء إلى أعلى، أما إذا كان الهواء الذي يرتفع إلى أعلى رطباً، فان الانخفاض المستمر درجة حرارته يدفع بجزء من بخار الماء الذي يحمله إلى التكاثف، ويعوضه عن جزء من الحرارة التي يفقدها بالارتفاع. ولهذا فان معدل تناقص درجة حرارته بالارتفاع لا يكون ثابتا مثل معدل التناقص الجاف، بل انه يتغير كثيراً تبعاً لاختلاف الرطوبة النسبية، وسرعة التيارات الصاعدة. ويعرف المتوسط العام لكل تلك الحالات بمعدل التناقص القياسي.

والحقيقة أن معدل التناقص الذاتي الجاف لا يتمثل إلا في الطبقة السفلى من الهواء القريبة جدا من سطح الأرض، وإن كان يستمر حتى ارتفاعات أعلى من ذلك بكثير في الصحارى الجافة.

(٥) الانعكاسات الحرارية

ذكرنا ـ فيما سبق ـ أن القاعدة العامة في التروبوسفير هي تناقص درجة الحرارة بالارتفاع إلا أن ذلك لا يحدث دائماً، بل إن درجة الحرارة تزداد بالارتفاع في بعض الأحيان بدل أن تتناقص. وتعرف هذه الظاهرة بالانعكاس الحراري، لأنها تمثل انعكاساً للقاعدة العامة. تكثر الانعكاسات الحرارية عندما يكون

سطح الأرض أبرد من الهواء الملاصق له مما يجعل الحرارة تنتقل بالتوصيل من الهواء إلى سطح الأرض. ويمكن أن نميز بين الأنواع التالية من الانعكاسات الحرارية تبعاً لاختلاف سبب نشأة كل منها.

(٥-١) الانعكاس الإشعاعي

تحدث الانعكاسات الإشعاعية في ليالي الشتاء الباردة، ذات السماء الصافية، والرياح الهادئة. إذ أن صفاء السماء يجعل جزءاً كبيراً من الإشعاع الأرضي يهرب إلى الفضاء. كما أن هدوء الرياح يسمح للهواء بالبقاء ملاصقاً لسطح الأرض مدة طويلة تكفي لانخفاض درجة حرارته إلى الحد الذي يجعل الهواء الواقع فوقه ادفأ منه. ويساعد طول الليل وقصر النهار أثناء فصل الشتاء على كثرة حدوث هذا النوع من الانعكاسات الحرارية خاصة في المناطق المعتدلة والباردة.

ويعتمد سمك طبقة الهواء التي تتأثر بهذا النوع من الانعكاسات على طبيعة السطح، ونسبة تغيم السماء، والرطوبة النسبية، وطول الليل، وسرعة الرياح. فهي أكثر سمكاً فوق اليابس منها فوق الماء، كما أن ارتفاع نسبة تغيم السماء يحد من نموها، لأن السحب تحفظ الاشعاع الأرضي، وتمنعه من الهروب إلى أعلى. ويقوم بخار الماء بالدور نفسه الذي تقوم به السحب، ولهذا فان سمك هذه الطبقة في المناطق القارية الجافة أكثر من سمكها فوق المناطق البحرية بكثير. وينحصر تأثير طول الليل على سمك هذه الطبقة في زيادته لطول المدة التي يفقد فيها سطح الأرض الأشعة، مما يجعل الليالي الطويلة اكثر برودة من الليالي القصيرة، أما العلاقة بين سمك هذه الطبقة وسرعة الرياح فأكثر تعقيداً، إذ أن هبوب رياح خفيفة تساعد على نمو هذه الطبقة، وزيادة حدتها، بينما يعمل هدوء الرياح على بقائها سطحية وقليلة العمق. ويتأثر سمك هذه الطبقة بالطبوغرافية العامة للمنطقة، فهي أكثر سمكاً في قيعان الأودية منها في المناطق المنبسطة.

(٥-٢) الانعكاس المنقول

تحدث الانعكاسات المنقولة عندما يكون سطح الأرض بارداً أو مغطي بالثلج

وتهب عليه كتلة هوائية دافئة، تزيد درجة حرارتها عن درجة حرارته. يكثر حدوث هذا النوع من الانعكاسات الحرارية عندما تتعرض المناطق المعتدلة والباردة في فصل الشتاء لكتل هوائية مدارية بحرية دافئة. ولهذا فانه لا يوجد وقت مفضل خلال اليوم لحدوثها، بل إنها قد تحدث في أية ساعة من اليوم، ولا يشترط لحدوثها هدوء الرياح، أو صفاء السماء، كما هو الحال في الانعكاسات الإشعاعية، بل هي ظواهر جوية واسعة الانتشار، لارتباطها بزحف الكتل الهوائية وتعاقب الجبهات.

(٥-٣) انعكاس الأودية

بعد أن تغرب الشمس ويبرد سطح الأرض، فان الهواء الموجود على سفوح الجبال وقممها يبرد أسرع من غيره، فيزداد جذب الأرض له، ويهبط من تلك السفوح إلى قيعان الأودية والأحواض المنخفضة، ويتراكم فيها. ولهذا فان درجة الحرارة في قيعان تلك الأودية تنخفض، ويتكون في الليل انعكاس حراري يمتد من قاع الوادي إلى أعلى. ولهذا السبب، فان المزارعين يفضلون زراعة الأشجار والمحاصيل الحساسة للصقيع على سفوح الجبال والتلال، وليس في قيعان الأودية والأحواض المنخفضة، حيث تزداد احتمالات الصقيع.

(٥-٤) الانعكاس العلوي

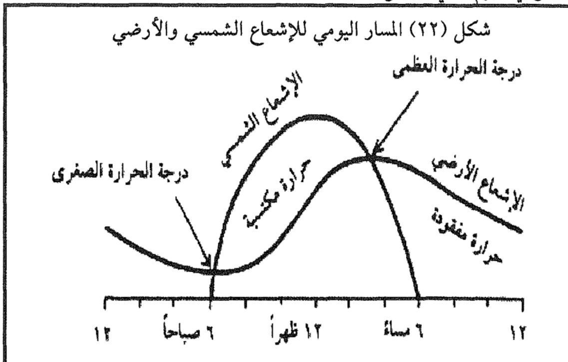
الانعكاسات الحرارية السابقة جميعها انعكاسات سطحية، أي أنها تتكون على سطح الأرض، إلا أن الانعكاس العلوي يتكون في طبقات الجو العليا بعيداً عن السطح، ولا علاقة له إطلاقاً بالظروف الجوية السطحية. يتكون هذا النوع من الانعكاسات نتيجة لهبوط الهواء من أعلى، مما يجعل درجة حرارته عندما يصل سطح الأرض تزيد على درجة حرارة الهواء الملاصق لسطح الأرض نفسه.

يرتبط حدوث هذا النوع من الانعكاسات الحرارية في المناطق المعتدلة بوصول المرتفعات الجوية أو أضداد الأعاصير التي يسود فيها عادة تيارات هوائية هابطة.

(٦) المسار اليومي لدرجة الحرارة

تمتاز الأيام التي تخلو من تعاقب الكتل والجبهات الهوائية بمسار منتظم ومميز لدرجة الحرارة، إذ تبدأ درجة الحرارة بالارتفاع منذ أن تشرق الشمس وتستمر في ارتفاعها إلى ما بعد الظهر بساعتين أو أكثر، تبعاً لموقع المكان وقربه من البحر. وبعد الظهر تأخذ درجة الحرارة في التناقص المنتظم إلى أن تصل أدنى حد لها قبيل شروق الشمس في اليوم التالي (شكل ٢٢).

شكل (٢٢) المسار اليومي للإشعاع الشمسي والأرضي



ويمثل المسار اليومي لدرجة الحرارة انعكاساً واضحاً للمسار اليومي للإشعاع الشمسي الذي يبدأ منذ أن تشرق الشمس، ويأخذ في الزيادة حتى يبلغ أقصى حد له وقت الظهر، ثم يأخذ في التناقص بعد ذلك، إلى أن يتوقف تماماً عند غروب الشمس. ومن الملاحظ أن المسار اليومي للإشعاع الشمسي والمسار اليومي لدرجة الحرارة لا يتطابقان تماماً، بل إن المسار اليومي لدرجة الحرارة يبقى متأخراً عن المسار اليومي للإشعاع الشمسي بعضاً من الوقت الذي يصل في المناطق البحرية إلى ساعتين. ويمكن تفسير تأخر المسار اليومي لدرجة الحرارة عن المسار اليومي للإشعاع الشمسي، باعتبار درجة الحرارة محصلة للموازنة الحرارية

لسطح الأرض والهواء القريب منه، فإذا كانت درجة الحرارة تستمر في الارتفاع بعد أن يأخذ الاشعاع الشمسي في التناقض، فان ذلك يعود إلى أن الحرارة المكتسبة لذلك السطح تبقى أعلى من الحرارة المفقودة حتى بعد أن يأخذ الإشعاع الشمسي في التناقص. ويستمر هذا الوضع إلى ما بعد الظهر بساعتين أو أكثر تبعاً لكون المنطقة قارية أو بحرية. أما بعد أن تغرب الشمس، فان الحرارة المكتسبة تتوقف تماماً، بينما تستمر عملية فقدان الحرارة طوال الليل. ويختلف الوقت الذي تبلغ درجة الحرارة فيه أقصاها بين المناطق القارية والبحرية، تبعاً لاختلاف الخصائص الحرارية لكل من اليابس والماء، مما يجعل أحر ساعات النهار في المناطق البحرية أكثر تأخراً عنها في المناطق القارية.

(٧) التقلبات اليومية في درجة الحرارة

لا يتبع المسار اليومي لدرجة الحرارة ـ أحياناً ـ المسار اليومي للإشعاع الشمسي خاصة خلال فصل الشتاء. إذ يتحكم في الطقس ـ خلال ذلك الفصل ـ عدد من العوامل أهمها تعاقب الكتل والجبهات الهوائية. ولهذا فان المسار اليومي لدرجة الحرارة قد يطمس تماماً ويظهر بدلا منه تقلبات في درجة الحرارة تطول مدة الواحد منها أو تقصر تبعاً لاتجاه الرياح وحركة الجبهات وغير ذلك. والحقيقة أن التقلبات الفجائية في درجة الحرارة التي ترتبط بتعاقب الجبهات الهوائية أشد وضوحاً وأكثر تأثيراً على صحة الإنسان ونشاطه من المسار اليومي المنتظم في درجة الحرارة، خاصة وأن تلك التقلبات قد تبلغ من الحدة شأنا كبيراً. فقد حدث أن ارتفعت درجة الحرارة في مدينة أدنبرة ست درجات مئوية خلال ٧٢ دقيقة فقط. ثم عادت وانخفضت تسع درجات مئوية في الخمسة عشرة دقيقة التي أعقبت ذلك. وكان السبب الرئيس لذلك التقلب الحاد هو التقاء كتلتين هوائيتين ذات خصائص مناخية شديدة الاختلاف.

(١١) موجات الحر

لا يوجد تعريف موحد لموجة الحر (Heat Wave)، فالتقلبات اليومية لدرجة

الحرارة تحدث بصورة مستمرة، إلا ان تلك التقلبات تتفاوت في شدتها وطول مدتها. فبعضها لا يستمر الا يوما، او اثنين، بينما يستمر بعضها الأخر عدة ايام. وبينما لا ترتفع درجة الحرارة في بعضها الا قليلا، نجدها ترتفع في البعض الأخر من ٨ إلى١٠° م. وما قد يكون مقبولا من ارتفاع في درجة الحرارة في المناطق الحارة، قد يعد موجة حر قوية إذا حدث في المناطق المعتدلة والباردة. وللتمييز بين التقلبات اليومية لدرجة الحرارة وموجات الحر، فإن منظمة الأرصاد الجوية العالمية تعرف موجة الحر بأنها:

(فترة لا يقل طولها عن خمسة أيام متعاقبة ترتفع في درجة الحرارة العظمى بما لا يقل عن ٥° م عن معدل درجة الحرارة العظمى للفترة ١٩٦١ ـ ١٩٩٠).

وكما هو واضح من التعريف السابق فإن التقلبات في درجة الحرارة التي تقل مدتها عن خمسة أيام متعاقبة لا تعد موجة حر، علما بأن بعض موجات الحر تكون طويلة جدا، كموجة الحر التي تعرضت لها مناطق واسعة من الولايات المتحدة وبعض الدول الأوروبية والتي بدأت في شهر يونية ٢٠٠٧، وما زالت مستمرة في الأسبوع الأول من شهر أغسطس.

وكما يتضح من التعريف السابق لموجة الحر فإنه يشترط في أية موجة حر أن يزيد معدل درجة الحرارة العظمى خلالها بمقدار ٥° م عن المعدل العام لدرجة الحرارة العظمى للفترة ١٩٦١ـ ١٩٩٠. فشدة موجات الحر في أي مكان تقاس بالنسبة إلى معدل درجة الحرارة العظمى في ذلك المكان نفسه. والواقع أن شدة بعض موجات الحر يكون كبيرا جدا مما يلحق خسائر كبيرة في المناطق التي تتعرض لها كموجة حر ٢٠٠٣ التي تعرضت لها ـ كما هو مبين في الشكل (٢٣) ـ مناطق واسعة من الدول الأوروبية وأدت إلى وفاة أكثر من ١٤٨٠٢ شخص في فرنسا وحدها، و٢١٣٩ شخص في بريطانيا، و٣٠٠ شخص في إيطاليا.

شكل (٢٣) المناطق التي تعرضت لموجة حر عام ٢٠٠٣

وتلحق موجات الحر في المناطق التي تتعرض لها خسائر كثيرة نذكر منها:

أ-الخسائر البشرية:

تحدث حالات وفاة كثيرة اثناء موجات الحر خاصة عند بعض المرضى وكبار السن، الذين لا يستطيعون تحمل الارتفاع في درجة الحرارة، كما تحدث حالات وفاة اخرى بسبب الحوادث المرتبطة بارتفاع درجة الحرارة.

ومما يضاعف من الشعور بالضيق أثناء موجات الحر هو الارتفاع في الرطوبة النسبية الذي يصاحب الارتفاع في درجة الحرارة، خاصة وأن تأثير الارتفاع في درجة الحرارة يتضاعف ـ كما هو مبين في الجدول (١٠) كلما كان مقترنا

بارتفاع في الرطوبة النسبية.

جدول (١٠) تأثير الارتفاع في درجة الحرارة عندما يكون مقرونا بارتفاع في الرطوبة النسبية

درجة الحرارة (ف)

الرطوبة النسبية (٪)	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110
40	80	81	83	85	88	91	94	97	101	105	109	114	119	124	130	136
45	80	82	84	87	89	93	96	100	104	109	114	119	124	130	137	
50	81	83	85	88	91	95	99	103	108	113	118	124	131	137		
55	81	84	86	89	93	97	101	106	112	117	124	130	137			
60	82	84	88	91	95	100	105	110	116	123	129	137				
65	82	85	89	93	98	103	108	114	121	128	136					
70	83	86	90	95	100	105	112	119	126	134						
75	84	88	92	97	103	109	116	124	132							
80	84	89	94	100	106	113	121	129								
85	85	90	96	102	110	117	126	135								
90	86	91	98	105	113	122	131									
95	86	93	100	108	117	127										
100	87	95	103	112	121	132										

خطر شديد ▨ خطر □ حذر شديد ∙ حذر

ب-الخسائر الاقتصادية:

تتمثل أبرز الخسائر الإقتصادية فيما يلي:

١-موت بعض المحاصيل الزراعية، ونضج بعضها الاخر قبل موعده، مما يؤدي الى زيادة المعروض منه، وكساده، وانخفاض اسعاره.

٢-زيادة استهلاك المياه في ري المزروعات.

٣-زيادة استهلاك المياه والكهرباء في المنازل والمكاتب والمصانع وغيرها.

ج-الخسائر البيئية:

تتمثل أبرز الخسائر البيئية فيما يلي:

١- سهولة انتشار الحرائق في الاحراج، والغابات، والمناطق الاخرى، التى تكثر فيها الاعشاب الجافة

٢-جفاف بعض نباتات المراعي وموتها، او إلحاق خسائر كبيرة فيها بفعل زيادة معدلات النتج منها، وقلة المياه المتوفرة.

٣-ارتفاع معدلات التبخر من المسطحات المائية والتربة.

(١٢) المسار السنوي لدرجة الحرارة

يتبع المسار السنوي لدرجة الحرارة المسار السنوي للإشعاع الشمسي، شأنه في ذلك شأن المسار اليومي. وكما هو الحال في المسار اليومي، فإن المسار السنوي لدرجة الحرارة يبقى متأخراً يبقى متأخراً عن المسار السنوي للإشعاع. ويختلف طول المدة التي يكون متأخراً فيها تبعاً لكون المنطقة قارية أو بحرية. وهي تتراوح بين شهر أو أقل في المناطق القارية، وقرابة الشهرين في المناطق البحرية.

(١٢) التوزيع الجغرافي للمدى اليومي للحرارة

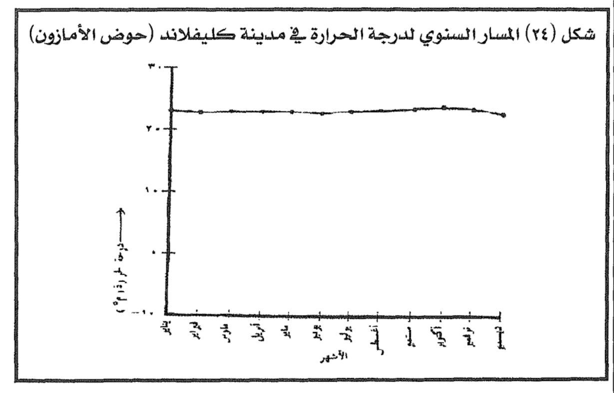
نظراً لاختلاف الخصائص الحرارية بين اليابسة والمسطحات المائية، فإن المدى اليومي لدرجة الحرارة في المناطق القارية أكثر منه في المناطق البحرية. كما أن المدى اليومي للحرارة أقل في الأيام التي ترتفع فيها الرطوبة النسبية، منه في الأيام الجافة. وكلما كان بخار الماء مركزاً في الطبقات الأسفل من الغلاف الجوي كلما كان تأثيره على درجة الحرارة مضاعفاً.

ويلاحظ أن المدى اليومي لدرجة الحرارة في المناطق الجبلية المرتفعة أقل منه في المناطق السهلية المنخفضة، فالمدى اليومي لدرجة الحرارة على ارتفاع ٢٠٠ متر من السطح يقل عن ٤٠٪ من المدى اليومي على ارتفاع مترين فقط. ويعزى ذلك إلى تناقص تأثير السطح بالارتفاع. ويبدو أن لدرجة العرض تأثيراً على المدى اليومي لدرجة الحرار، فالمناطق الاستوائية والمدارية ذات مدى حراري قليل بينما يزداد المدى الحراري اليموي كلما ابتعدنا عن خط الاستواء. ولعل السبب في ذلك هو ازدياد الاختلاف في طول الليل والنهار في المناطق المعتدلة والباردة عنه في المناطق المدارية.

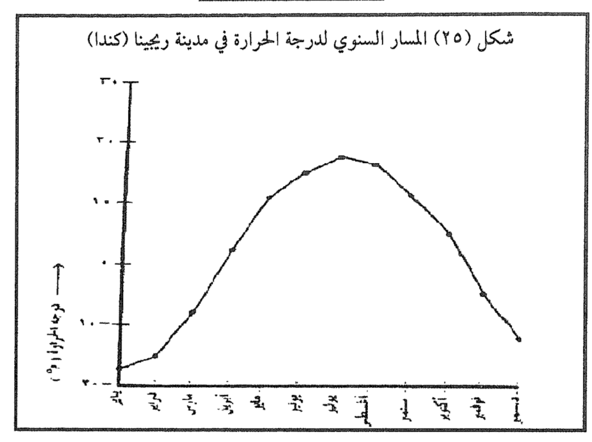
(١٣) التوزيع الجغرافي للمدى الحراري السنوي:

العوامل التي تتحكم في التوزيع الجغرافي للمدى الحراري اليومي هي العوامل نفسها التي تؤثر على المدى الحراري السنوي، فالمدى السنوي لدرجة الحرارة في المناطق الاستوائية صغير جداً ويزيد عليه المدى الحراري اليومي برغم ضالته. يبدو ذلك واضحا من المسار السنوي لدرجة الحرارة في مدينة كليفلاند الـتي تقـع في حوض الأمازون حيث درجة الحرارة لا تختلف من شهر لآخر (الشكل ٢٤).

شكل (٢٤) المسار السنوي لدرجة الحرارة في مدينة كليفلاند (حوض الأمازون)

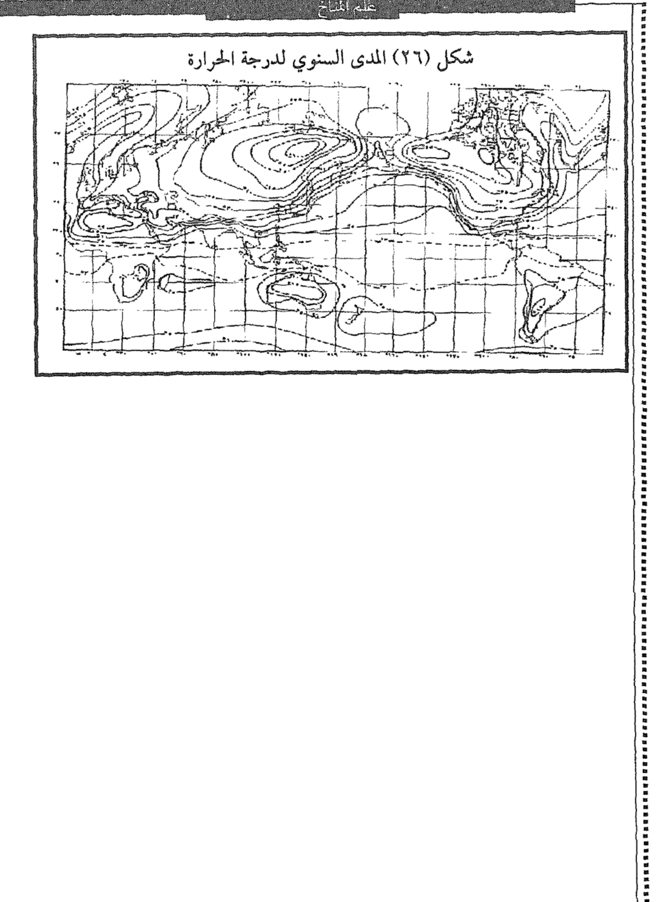


أما في المناطق المعتدلة والباردة فان المدى الحراري السنوي كبير ويزداد كلما ابتعدنا عن خط الأستواء (شكل ٢٥).



شكل (٢٥) المسار السنوي لدرجة الحرارة في مدينة ريجينا (كندا)

ويزيد المدى الحراري السنوي في المناطق القارية عنه في المناطق البحرية، كما أنه أقل في المناطق الجبلية المرتفعة عنه في السهول المنبسطة. فمن الواضح من التوزيع الجغرافي للمدى السنوي لدرجة الحرارة (شكل٢٦)، أن المدى السنوي لدرجة الحرارة يصل أقصى حد له في أواسط آسيا حيث يزيد على ٥٥° م وفي أواسط أمريكا الشمالية حيث يزيد ٤٥° م. أما في المناطق البحرية والساحلية فأن المدى السنوي لدرجة الحرارة قليل. وهو منخفض أيضاً في المناطق الاستوائية والمدارية ويزداد كلما ابتعدنا عن خط الاستواء.



شكل (٢٦) المدى السنوي لدرجة الحرارة

أنشطة الفصل الثالث

النشاط الأول: يمثل الشكل (٢٧) المدى السنوي لدرجة الحرارة (فهرنهيت) في كل ولاية من الولايات الأمريكية. إذ أن قيمة المدى السنوية مكتوبة بخط عريض ومكتوب أسفل منها أقل درجة حرارة وأعلى درجة تم تسجيلها في تلك الولاية. وهذه البيانات مأخوذة من الموقع التالي على شبكة الانترنيت.

http://ggweather.com/climate/extremes_us.htm

المطلوب هو الرجوع إلى ذلك الموقع والحصول على الجدول الخاص بالبيانات الحرارية ورسم خريطة مناخية للتوزيع الجغرافي للمدى السنوي لدرجة الحرارة في الولايات المتحدة مستخدما أسلوب خطوط الحرارة المتساوية.

شكل (٢٧) المدى السنوي لدرجة الحرارة (فهرنهيت) في كل ولاية من الولايات الأمريكية



النشاط الثاني: يمثل الشكل (٢٨) التوزيع الجغرافي للشذوذ الحراري في العالم لشهر يونيو (حزيران) ٢٠٠٧ مقارنة مع المعدل السنوي لدرجة الحرارة للفترة ١٩٦١ - ٢٠٠٧. والشكل المذكور مأخوذ من الموقع التالي على شبكة الانترنيت:

http://hadobs.metoffice.com/crutem3/

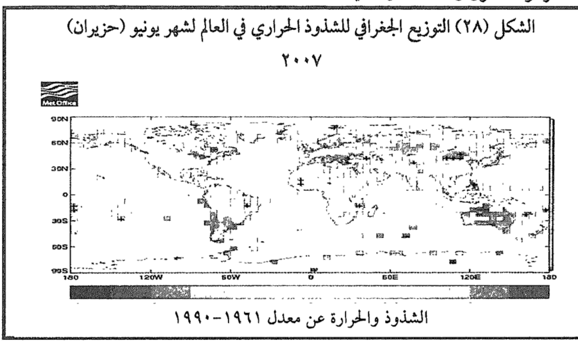
وهو الموقع الرئيسي لمركز هيدلي (Hadley) للدراسات المناخية في جامعة ايست انجليا (East Anglia) البريطانية وهو من أكبر المراكز للدراسات المناخية في العالم.

والمطلوب هو

أ: عرض ذلك الشـكل في قاعـة التدريـس، وتقسـيم الطلبـة الى مجموعـات تركـيز (Focus Groups) ثم قيام رئيس كل مجموعة بتقديم التحليل الخاص بمجموعته لكل طلبة الصـف، علـى أن يتضمـن ذلـك العـرض تحليـل التوزيـع الجغـرافي للشذوذ الحراري الموضح في الشكل السابق.

ب: الرجوع الى موقع مركز هيدلي على شبكة الانترنيت وكتابة تقريـر مختصـر عـن المركز المذكور ونشاطاته ومقتنياته.

الشكل (٢٨) التوزيع الجغرافي للشذوذ الحراري في العالم لشهر يونيو (حزيران) ٢٠٠٧



الشذوذ والحرارة عن معدل ١٩٦١-١٩٩٠

النشاط الثالث: يتضمن الموقع التالي:

(http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_wave#Definitions)

قائمة بموجات الحر الرئيسية خلال الفترة ١٩٠١ـ ٢٠٠٧ ومعلومات وافية عنـها. المطلوب اختيار واحدة من تلك الموجات وكتابة تقريـر علمـي عنـها ومناقشـته في الصف ثم تضمينه في ملف الانجاز العلمي للطالب.

الفصل الرابع

الضغط الجوي

لا يهتم الإنسان بتغير الضغط الجوي مثلما يهتم بالتغير في درجة الحرارة، والرياح والأمطار وغيرها. والحقيقة أن التغيرات الطفيفة للضغط الجوي التي تحدث في مكان معين لا تؤثر على حياة الإنسان مباشرة، وليست مهمة لذاتها، بل لما يترتب عليها من تقلبات في عناصر الطقس الأخرى. يضاف إلى هذا، أن التقلبات اليومية للضغط الجوي ضئيلة، إذا قورنت بالتناقص السريع للضغط الجوي بالارتفاع. ولا تزيد تلك التقلبات ـ في العادة ـ عن التغير في الضغط بين قاعدة عمارة كبيرة ذات طوابق متعددة وقمتها.

والضغط الجوي الواقع على سطح الأرض كبير جداً، وإن كنا لا نشعر به لأننا اعتدنا عليه لكننا نشعر بما يطرأ عليه من اختلاف عندما نصعد إلى مكان شاهق. ويعرف الضغط الجوي بأنه وزن عمود الهواء الواقع على السنتيمتر المربع الواحد من سطح الأرض وهو يساوي ـ عند مستوى البحر ـ كيلوغرام واحد لكل سنتمتر مربع من سطح الأرض. أي أن سطح منزل متوسط المساحة يتكون من ثلاث غرف نوم وتوابعها يتعرض لضغط جوي يساوي ١,٢ مليون كيلوغرام، أو ما يعادل وزن ١٥٠٠ سيارة. لكن ذلك المنزل لا ينهار بالرغم من الثقل الشديد الذي يتعرض له، لأنه يتعرض لضغط مساوٍ من جميع الجهات.

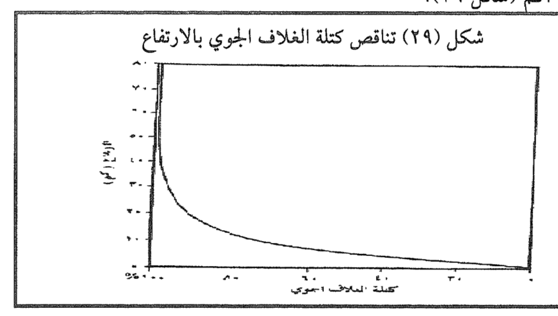
يتكون الضغط الجوي من مجموع ضغوط الغازات التي يتكون منها الغلاف الجوي، فالغازات التي تدخل في تركيبه بنسبة ثابتة تساهم في ضغطه بنسب ثابتة. اما الغازات التي تختلف نسبة وجودها فان نسبة مساهمتها في الضغط الجوي متغيرة أيضا.

(١) تناقص الضغط الجوي بالارتفاع

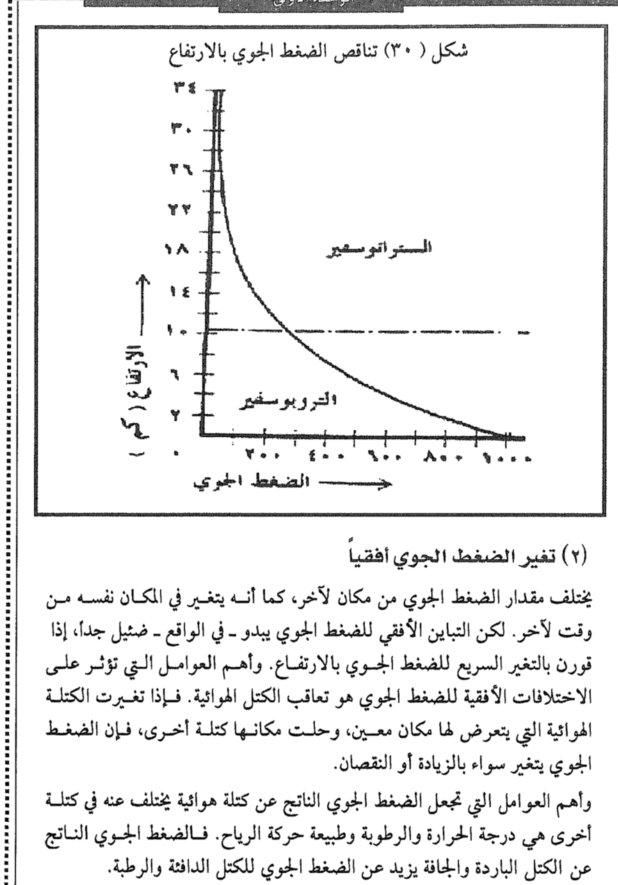
يتناقص الضغط الجوي بالارتفاع إلى أعلى، خاصة وأن كتلة الهواء نفسه

تتناقص أيضاً. فأكثر من نصف كتلة الغلاف الجوي توجد على ارتفاع يقل عن ٥,٥كم، كما أن أكثر من ٩٩٪ من كتلة الغلاف الجوي توجد على ارتفاع يقل عن ٣٢كم (شكل ٢٩).

شكل (٢٩) تناقص كتلة الغلاف الجوي بالارتفاع



وكما يلاحظ من الشكل (٣٠)، فإن معدل تناقص الضغط الجوي بالارتفاع يبدأ سريعاً في طبقات الجو الأسفل، لكنه يبطئ في الطبقات العليا التي يتكون فيها الغلاف الجوي من غازات خفيفة مخلخلة، فالضغط الجوي على ارتفاع ١٦كم لا يزيد عن عشر الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر، ويتناقص إلى ٠,٠١ على ارتفاع ٣١كم، و ٠,٠٠١ على ارتفاع ٤٨ كم. أي أن الضغط الجوي يتناقص إلى العشر كلما ارتفعنا ١٦كم.



شكل (٣٠) تناقص الضغط الجوي بالارتفاع

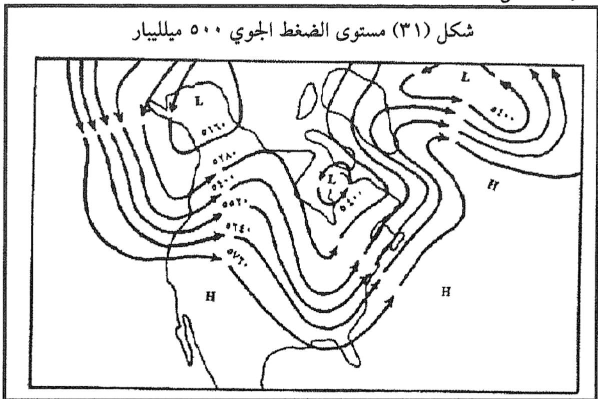
(٢) تغير الضغط الجوي أفقياً

يختلف مقدار الضغط الجوي من مكان لآخر، كما أنه يتغير في المكان نفسه من وقت لآخر. لكن التباين الأفقي للضغط الجوي يبدو ـ في الواقع ـ ضئيل جداً، إذا قورن بالتغير السريع للضغط الجوي بالارتفاع. وأهم العوامل التي تؤثر على الاختلافات الأفقية للضغط الجوي هو تعاقب الكتل الهوائية. فإذا تغيرت الكتلة الهوائية التي يتعرض لها مكان معين، وحلت مكانها كتلة أخرى، فإن الضغط الجوي يتغير سواء بالزيادة أو النقصان.

وأهم العوامل التي تجعل الضغط الجوي الناتج عن كتلة هوائية يختلف عنه في كتلة أخرى هي درجة الحرارة والرطوبة وطبيعة حركة الرياح. فالضغط الجوي الناتج عن الكتل الباردة والجافة يزيد عن الضغط الجوي للكتل الدافئة والرطبة.

ويتم تمثيل التباين الأفق للضغط الجوي في خرائط الطقس برسم خطوط وهمية تصل بين الأماكن التي يكون الضغط فيها متساويا، وتعرف بخطوط تساوي الضغط(Isobars). وهي بهذا تشبه خطوط تساوي الحرارة وغيرها من خطوط التساوي (isolines) التي تستعمل في الخرائط المناخية. إلا أن لخطوط تساوي الضغط أهمية خاصة في تحليل خرائط الطقس (synoptic charts) والتنبؤ الجوي. والسبب الرئيس لذلك هو أن تلك الخطوط ترتبط ارتباطا مباشرا بسرعة الرياح واتجاهها، وتكون الجبهات والمنخفضات الجوية، وغير ذلك من عناصر الطقس المهمة (شكل ٣١).

شكل (٣١) مستوى الضغط الجوي ٥٠٠ ميللبيار

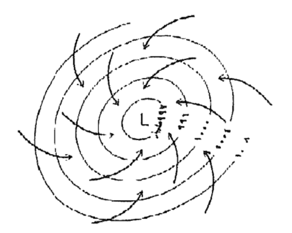


(٤) تحدر الضغط الجوي (Pressure Gradient)

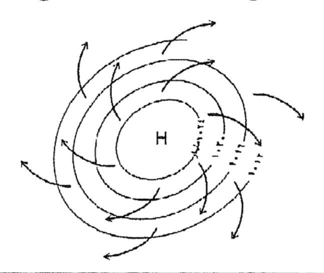
عندما يكون الضغط الجوي في منطقة معينة أعلى منه في المناطق المحيطة، تصبح تلك المنطقة مركز ضغط جوي مرتفع (High Pressure Center). أما إذا كان الضغط الجوي في تلك المنطقة اقل منه في المناطق المحيطة، فإنها تصبح منطقة ضغط جوي منخفض (low pressure center).

وتتحرك الرياح من مراكز الضغط المرتفع إلى مراكز الضغط المنخفض، بل ان الاختلافات في توزيع الضغط الجوي هي السبب الرئيس في حركة الرياح. ويؤثر دوران الأرض حول محورها على اتجاه الرياح فيحرفها إلى يمين اتجاهها في النصف الشمالي والى يسار اتجاهها في النصف الجنوبي، ولهذا فان الرياح بدل أن تهب مباشرة من مراكز الضغط المرتفع إلى مراكز الضغط المنخفض، فإنها تدور حول مراكز الضغط المنخفض في حركة معاكسة لحركة عقارب الساعة) (Counterclockwise (شكل ٣٢) بينما تخرج من مراكز الضغط المرتفع في حركة تشبه دوران عقارب الساعة (شكل ٣٣).

شكل (٣٢) حركة الرياح حول مركز ضغط جوي منخفض في النصف الشمالي

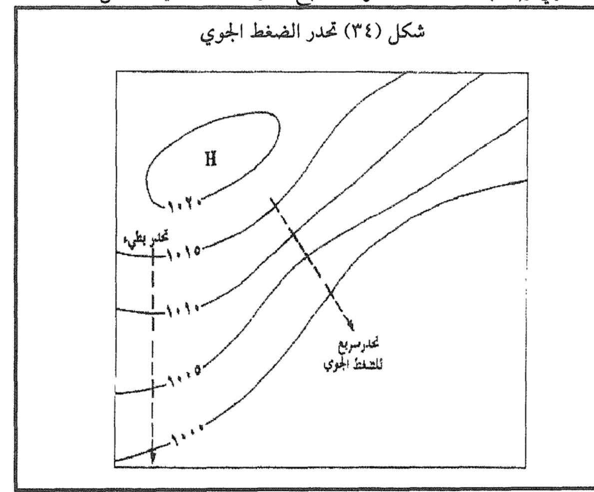


شكل (٣٣) حركة الرياح حول مركز ضغط جوي مرتفع في النصف الشمالي



يعرف معدل تناقص الضغط الجوي بين مركز الضغط المرتفع ومركز الضغط المنخفض بتحدر الضغط (Pressure gradient)، وكلما كان معدل التناقص سريعاً اشتد تحدر الضغط وقويت الرياح. اما اذا خف تحدر الضغط فإن الرياح تصبح ضعيفة ومتغيرة الاتجاه. والرياح تتبع تحدر الضغط الجوي مثلما يتبع الماء في جريانه انحدار سطح الأرض، فكلما كان الانحدار شديداً كانت الرياح أو المياه أسرع وأقوى. وتمثل، شدة تحدر الضغط على خرائط الطقس بتقارب خطوط الضغط المتساوي وإذا تباعدت تلك الخطوط، أصبح تحدر الضغط ضعيفاً (شكل ٣٤).

شكل (٣٤) تحدر الضغط الجوي

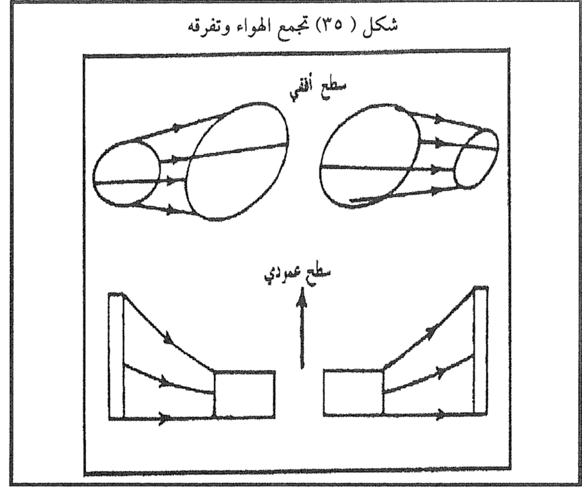


(٥) تجمع الهواء وتفرقه (Convergence and Divergence):

يتجمع الهواء عندما تتناقص مساحته على سطح الأرض ويزداد ارتفاعه، ويتفرق عندما تزداد مساحته ويقل ارتفاعه (شكل ٣٥). يلعب تجمع الهواء وتفرقه دوراً

بارزاً في نشأة مراكز الضغط المرتفع والمنخفض ليس على سطح الأرض فحسب بل وفي طبقات الجو العليا. فالهواء عندما يتجمع تتكون فيه تيارات صاعدة، ويصبح مركز ضغط منخفض، أما عندما تزداد مساحته، فإن يتعرض إلى تيارات هوائية هابطة، ويتكون على سطح الأرض مركز ضغط مرتفع. فالقاعدة العامة أذن هي اقتران مراكز تجمع الهواء وتفرقه بمراكز الضغط المنخفض والمرتفع.

شكل (٣٥) تجمع الهواء وتفرقه



أما في طبقات الجو العليا، فيقابل تجمع الهواء على سطح الأرض تفرقه في الطبقات العليا، بينما يقابل تفرق الهواء على السطح تجمعه في تلك الطبقات. ولهذا فإن مراكز الضغط الجوي المرتفع السطحية يقابلها في طبقات الجو العليا مراكز ضغط منخفض، بينما يقابل مراكز الضغط السطحية المنخفضة مراكز ضغط مرتفع.

(٦) التوزيع الجغرافي للضغط الجوي:

يتأثر التوزيع الجغرافي للضغط الجوي بعدد من العوامل أهمها:

- درجة الحرارة
- الارتفاع
- رطوبة الهواء
- توزيع اليابس والماء
- الدورة العامة للغلاف الجوي
- التقاء كتل هوائية مختلفة

(٦-١) درجة الحرارة

العلاقة بين درجة الحرارة والضغط الجوي علاقة عكسية قوية، فعندما يسخن الهواء في منطقة معينة أكثر من المناطق المجاورة، فإنه يرتفع إلى أعلى، وتصبح المنطقة مركزاً لتجمع الهواء، أي منطقة ضغط جوي منخفض. وكنتيجة لهذه العلاقة القوية بين الضغط الجوي ودرجة الحرارة، يظهر في المسار اليومي للضغط الجوي دورة يومية معاكسة للدورة اليومية لدرجة الحرارة. كما تظهر في المسار السنوي للضغط الجوي دورة معاكسة للدورة السنوية لدرجة الحرارة.

والضغط الجوي في الأيام العادية التي تخلوا من وصول جبهات هوائية يكون مرتفعاً في الليل ثم يبدأ في الانخفاض بعد أن تشرق الشمس إلى أن يبلغ أدنى حد له بعيد الظهر. وفي فصل الصيف تصبح أواسط القارات مراكز ضغط جوي منخفض. ولعل السبب الرئيس في جعل المنطقة الاستوائية ذات ضغط جوي منخفض طوال العام هو ارتفاع درجة حرارتها.

(٦-٢) الارتفاع:

يترتب على تناقص الضغط الجوي بالارتفاع أن يصبح الضغط الجوي في المناطق الجبلية اقل منه في السهول المنخفضة، ويتناسب معدل تناقص الضغط بالارتفاع تناسباً عكسيا مع درجة الحرارة، فهو أعلى في الأجواء الباردة منه في الأجواء الحارة، كما أن سمك طبقة الهواء التي تفصل بين أي مستويين للضغط اقل في المناطق الباردة منه في المناطق المدارية الحارة.

(٦-٣) رطوبة الهواء:

ذكرنا فيما سبق أن كثافة بخار الماء تقل عن كثافة الهواء، ولهذا فكلما ارتفعت نسبة

بخار الماء في الجو، كلما انخفض الضغط الجوي. ولهذا فان الضغط الجوي في المناطق البحرية الرطبة، اقل منه في المناطق القارية ذات الهواء الجاف، كما أن الضغط الجوي في الأيام ذات الرطوبة النسبية المرتفعة اقل منه في الأيام الجافة.

(٦-٤) توزيع اليابس والماء:

تؤثر الاختلافات الكبيرة بين اليابسة والماء في درجة الحرارة على التوزيع الجغرافي للضغط الجوي، فأواسط القارات تصبح في فصل الصيف مراكز ضغط جوي منخفض، بينما تبقى المسطحات المائية المحيطة بها مراكز ضغط مرتفع تهب منها الرياح باتجاه اليابس. وينعكس هذا الوضع تماما في فصل الشتاء بعد أن تصبح اليابسة أبرد من المسطحات المائية بكثير، ويتحول الضغط المرتفع إلى أواسط القارات بينما تصبح البحار والمحيطات مراكز ضغط جوي منخفض، وتهب الرياح عليها من اليابس. وتعرف هذه الظاهرة الفصلية المتمثلة في تغير الضغط الجوي واتجاه الرياح بين اليابسة والماء بالموسمية (Monsoons) وهي اكثر وضوحا في منطقة جنوب وشرق آسيا منها في القارات الأخرى.

تنعكس الاختلافات اليومية بين اليابسة والماء في درجة الحرارة على توزيع الضغط الجوي وظهور نسيم البر والبحر في المناطق الساحلية.

(٦-٥) التقاء كتل هوائية مختلفة:

عندما تلتقي كتلتان من الهواء أحدهما باردة والأخرى دافئة، فانهما لا تمتزجان بسهولة، بل تبقى كل منهما محافظة على خصائصها، ويحاول الهواء البارد أن يرفع الهواء الدافئ إلى أعلى ليحل محله. تنشأ نتيجة ذلك تيارات هوائية صاعدة وتتحول منطقة التقاء الكتلتين إلى مركز لتجمع الهواء وتصبح منطقة ضغط جوي منخفض. ولهذا فان تكون الضغط الجوي المنخفض في العروض المعتدلة خاصة خلال فصل الشتاء مرتبط بكثرة التقاء الكتل الهوائية المدارية البحرية الدافئة مع الكتل القطبية الباردة على طول الجبهة القطبية (Polar Front) التي توجد في تلك العروض.

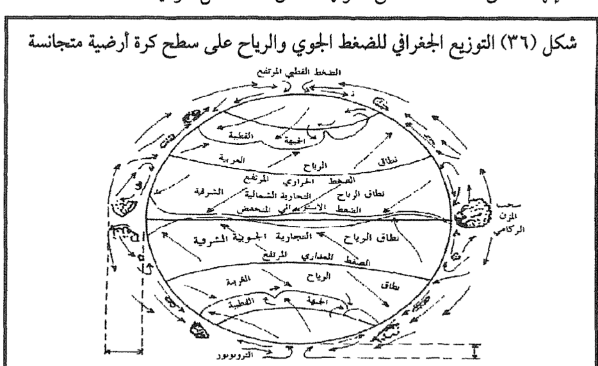
(٦-٦) الدورة العامة للغلاف الجوي:

رغم أهمية الدور الذي تقوم بها العوامل السابقة جميعها في اختلاف توزيع الضغط

الجوي على سطح الأرض، إلا أن المسؤول الرئيس عن التوزيع الجغرافي للضغط الجوي على سطح الأرض هو الدورة العامة للغلاف الجوي، فهي التي تحدد النطاقات الرئيسة للضغط المرتفع والضغط المنخفض، بينما تقوم العوامل الأخرى مثل اختلاف توزيع اليابس والماء، والارتفاع، ودرجة الحرارة، وغيرها بإدخال تعديلات فصلية أو يومية على ذلك التوزيع.

ولتوضيح الدور الذي تلعبه الدورة العامة للغلاف الجوي في توزيع النطاقات الرئيسة للضغط، دعنا نتتبع توزيع الضغط الجوي على سطح كرة أرضية متجانسة ومستوية (شكل ٣٦). تظهر المنطقة الاستوائية ـ عندئذ ـ منطقة ضغط منخفض، وذلك نظراً لارتفاع درجة حرارتها طول العام وللنشاط الدائم للتيارات الهوائية الصاعدة فيها. أما المناطق المدارية فتبقى مناطق ضغط مرتفع لان الحركة الرئيسة للغلاف الجوي فيها هي التيارات الهوائية الهابطة. ويظل الضغط مرتفعا في المنطقة القطبية طيلة العام نظراً لبرودتها. أما المناطق المعتدلة فإنها مناطق ضغط منخفض لكونها مناطق التقاء كتل هوائية مختلفة.

شكل (٣٦) التوزيع الجغرافي للضغط الجوي والرياح على سطح كرة أرضية متجانسة



(٧) اختلاف توزيع الضغط الجوي بين الصيف والشتاء:

يؤدي اختلاف الخصائص الحرارية بين اليابسة والمسطحات المائية، إلى إدخال تعديلات كبيرة على التوزيع السابق للضغط الجوي، وإلى ظهور اختلافات فصلية كبيرة في توزيع الضغط الجوي، خاصة في المناطق المعتدلة والباردة. إذ تصبح المسطحات المائية في الشتاء مراكز ضغط منخفض، بينما يتكون في أواسط القارات مراكز ضغط مرتفع. أما في الصيف، فتتحول أواسط القارات لتصبح مراكز ضغط منخفض، بينما تصبح المسطحات المائية مراكز ضغط مرتفع. وتبدوا تلك الاختلافات أضخم وأكثر وضوحا في النصف الشمالي الذي يغلب عليه اليابس منها في النصف الجنوبي الذي يغلب علية الماء. ولاشك ان الدور الرئيس الذي تلعبه المسطحات المائية هو كونها مخازن رئيسة للطاقة.

ويمكن تلخيص أهم الاختلافات التي تطرأ على التوزيع النظري السابق للضغط الجوي خلال فصل الشتاء فيما يأتي:

١- يتجزأ نطاق الضغط المنخفض للعروض المعتدلة إلى مركزين رئيسين هما المنخفض الايسلندي الذي يتمركز بين جزيرة ايسلندا وبرمودا والمنخفض الألوشي (Alution Low) الذي يتمركز بالقرب من أرخبيل جزر الالوشين التي تقع في النصف الشمالي من المحيط الهادىء حول خط عرض ٥٥° شمالا.

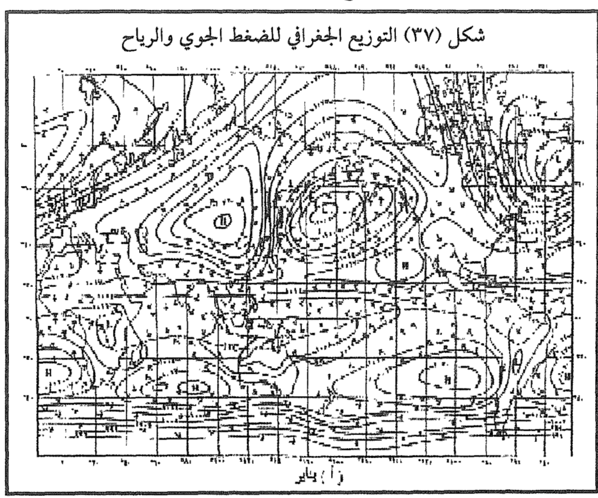
٢- تصبح أواسط القارات الواقعة في المناطق المعتدلة مراكز ضغط مرتفع يتصل مع نطاق الضغط المداري المرتفع الذي يتزحزح جنوباً تبعاً لحركة الشمس الظاهرية.

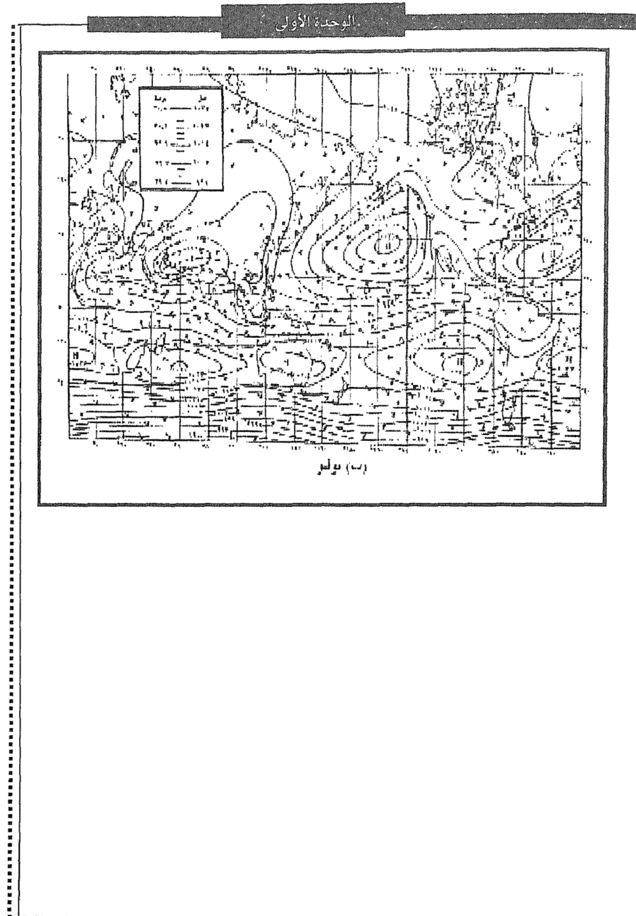
أما في فصل الصيف فإن جميع مراكز الضغط الجوي السابقة تتزحزح شمالاً وينكمش المنخفض الآيسلندي باتجاه الشمال، ويتقلص حجمه كثيراً، ويضعف تأثيره. أما الضغط المداري المرتفع خاصة المركز الرئيس الواقع عند جزر الازور والمعروف بالمرتفع الازوري فيتوسع شمالاً ويغطي الجزء الأكبر من حوض البحر المتوسط وشمال افريقيا، وتصبح

المناطق الداخلية من قارتي آسيا وأمريكا الشمالية مراكز ضغط جوي منخفض، وتهب الرياح عليها من مناطق البحرية المحيطة (شكل٣٧).

أما التغيرات التي تطرأ على توزيع الضغط الجوي في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية فطفيفة، ولا تتعدى زيادة بسيطة في قوة الضغط المداري المرتفع فوق الماء خلال فصل الصيف، بينما يصبح أكثر قوة فوق الأطراف الجنوبية للقارات شتاء.

شكل (٣٧) التوزيع الجغرافي للضغط الجوي والرياح





(ب) يوليو

نشاطات الفصل الرابع

يمثل الشكل (٣٨) التوزيع الجغرافي للضغط الجوي لمدة ١٥ عاما. وقد تم الحصول على ذلك الشكل من الموقع التالي على شبكة الانترنيت:

http://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_pressure#Standard_atmospheric_pressure

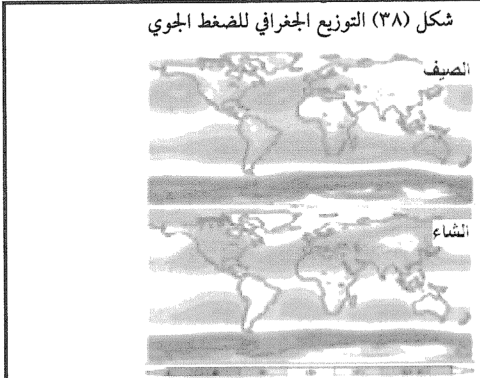
والمطلوب هو:

أ: عرض ذلك الشكل في قاعة التدريس، وتقسيم الطلبة الى مجموعات تركيز (Focus Groups) ثم قيام رئيس كل مجموعة بتقديم التحليل الخاص بمجموعته لكل طلبة الصف، على أن يتضمن ذلك العرض:

أ: تفسير التوزيع الجغرافي للضغط الجوي

ب بيان العوامل المؤثرة في ذلك التوزيع.

شكل (٣٨) التوزيع الجغرافي للضغط الجوي



الفصل الخامس

الريـاح

يشهد الغلاف الجوي حركة مستمرة، ومن يراقب الجهاز الذي يقيس سرعة الريـاح واتجاهها يلحظ أن الرياح تغير سرعتها واتجاهها في كل لحظـة. ويمكـن أن نميز بـين نمطين لحركة الهواء: الرياح وهي الحركـة الأفقيـة للـهواء، والتيـارات الرأسـية وهـي حركة التيارات الصاعدة والهابطة[1]. وتبدو الحركة الرأسية ـ عنـد مقارنتـها بالحركـة الأفقية ـ ضئيلة ومحدودة لأنها محصورة في طبقة التروبوسفير التي لا يتجاوز سمكـها ٨-١٢ كم فقط. وبالرغم من ذلك فإن للحركة الرأسية أهميـة كـبرى في نشـأة كثـير من الظواهر الجوية مثل التكاثف، وتكون الغيوم وسقوط الأمطار، وحدوث الـبرق والرعد، وغيرها من مظاهر الطقس المهمة. ولعل السـبب في ضآلـة الحركـة الرأسية للهواء هو ضآلة سمك طبقة التروبوسفير التي تنحصر تلك الحركة فيها.

(١) وظائف الرياح

تقوم الرياح بوظائف متعددة، ولكننا سنكتفي بذكـر اثنتـين منـها فقـط همـا: نقـل الطاقة ونقل بخار الماء.

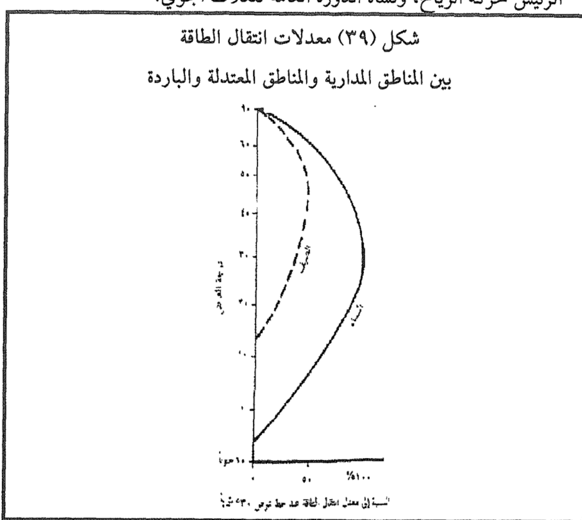
---

(١) نفضل استخدام كلمة الرياح بالجمع وليس الريح لأن الرياح لم ترد في القـرآن الكريـم وفي الحديـث الشريف إلا في معرض الخير. أما الريح فلم يرد ذكرها إلا في معرض العذاب والتخويـف والشـر والتهديد. يقول تبارك وتعالى في الآية (٥٧) من سورة الأعراف (وهو الذي يرسـل الريـاح بشـرا بين يدي رحمته حتى إذا أقلت سحاباً ....) . وكان رسول الله صلى الله عليه وسلم يقـول إذا هبت ريحاً (اللهم اجعلها رياحاً ولا تجعلها ريحاً). وجاء في القرآن الكريم في وصـف الريـح (أنـا أرسلنا عليكم ريحاً صرصراً في يوم نحس مستمر).

- نقل الطاقة: تنقل الرياح كميات هائلة من الطاقة الفائضة في المناطق المدارية إلى المناطق القطبية التي تشكو من عجز كبير في الطاقة. وكما يبدو واضحاً في (شكل ٣٩) فإن معدل نقل الطاقة يستمر في الزيادة حتى دائرة عرض ٣٥° شمالاً، ثم يأخذ ـ بعد ذلك ـ بالتناقص لأن جزءاً من الطاقة المنقولة يذهب في تسخين المناطق المعتدلة والباردة التي تمر عليها تلك الرياح. ولا شك أن الاختلاف الكبير في توازن الطاقة بين المناطق المدارية والقطبية هو الدافع الرئيس لحركة الرياح، ونشأة الدورة العامة للغلاف الجوي.

شكل (٣٩) معدلات انتقال الطاقة

بين المناطق المدارية والمناطق المعتدلة والباردة



- نقل بخار الماء: المصدر الرئيس لبخار الماء هو المسطحات المائية، إلا أن الرياح تنقله بعيداً إلى اليابسة، حيث يسقط على شكل أمطار وثلوج، ولولا هذا لكانت الأمطار التي تصيب اليابس أقل مما هي عليه الآن بكثير. قال تعالى في

محكم كتابه العزيز (والله الذي أرسل الرياح فتثير سحاباً فسقناه إلى بلد ميت فأحيينا به الأرض بعد موتها كذلك النشور).

والرياح بالإضافة إلى هاتين الوظيفتين تنقل بعض عناصر الطقس الأخرى كالضباب المتنقل والصقيع المتنقل، وغيرهما من أماكن نشأتها إلى مناطق أخرى بعيدة. وتقوم الرياح ـ أيضاً ـ بنقل التلوث الجوي والبحري من مصادرهما المحلية إلى المناطق المجاورة. وتستغل الرياح في الوقت الحاضر لتوليد الكهرباء خاصة في المناطق التي يكثر فيها هبوب رياح فيها شديدة وذات اتجاه ثابت (لوحة ٥).

(٢) العوامل التي تؤثر في حركة الرياح:

أهم العوامل الرئيسة التي تؤثر في حركة الرياح هي:

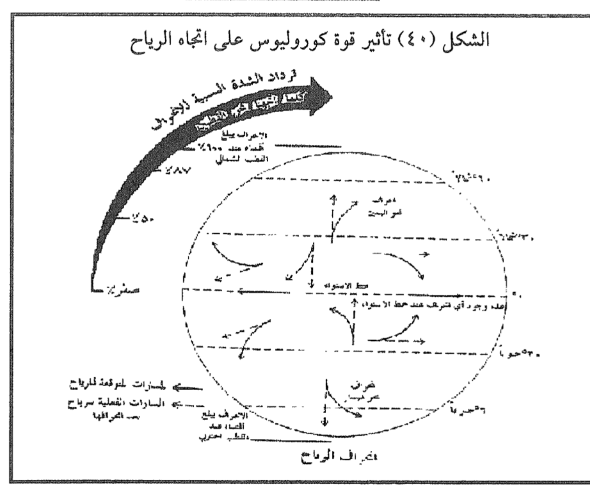
- تحدر الضغط الجوي - قوة كوروليوس - الاحتكاك - قوة الجذب نحو المركز

(٢-١) تحدر الضغط الجوي:

الباعث الرئيس لنشوء الرياح هو الاختلاف في توزيع الضغط الجوي على سطح الأرض، ولذا فإن الرياح تكون أقوى وأشد عندما يكون تحدر الضغط شديداً.

(٢-٢) قوة كوروليوس (Coriolis Force):

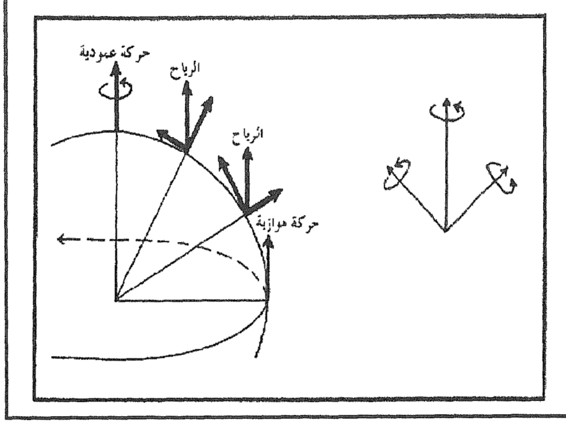
لو كانت الكرة الأرضية ثابتة لا تدور حول محورها، لهبت الرياح مباشرة من مراكز الضغط المرتفع إلى مراكز الضغط المنخفض، لكن هذا لا يحدث في الواقع، بل تنحرف لرياح إلى يمين اتجاهها في النصف الشمالي وإلى يسار اتجاهها في النصف الجنوبي. وكما هو مبين في الشكل (٤٠)، فإن انحراف الرياح يزداد كلما ابتعدت عن خط الاستواء، ويصل إلى أقصى حد له عند القطبين مباشرة.



الشكل (٤٠) تأثير قوة كوروليوس على اتجاه الرياح

ويرجع السبب في زيادة انحراف الرياح كلما ابتعدنا عن خط الاستواء باتجاه القطبين إلى زيادة السرعة الدورانية للأرض كلما زادت درجة العرض، أي كلما ابتعدنا عن خط الاستواء باتجاه القطبين. ولتوضيح ذلك افترض وجود جسم ثابت فوق القطب مباشرة، تجد أن ذلك الجسم ـ بالرغم من ثباته الظاهر- يتحرك مع حركة الأرض، وتكون حركته كلها عمودية على محور الأرض تماماً. ولو كان ذلك الجسم موجوداً على خط الاستواء مباشرة، فإن حركته تكون كلها موازية لمحور الأرض. أما لو كان ذلك الجسم موجوداً في أي مكان آخر بين القطب وخط الاستواء، فإن حركته تصبح محصلة (Resultunt) للحركتين العمودية والموازية (شكل ٤١).

شكل (٤١) المركبات الأفقية والعامودية في الحركة الدورانية للأرض



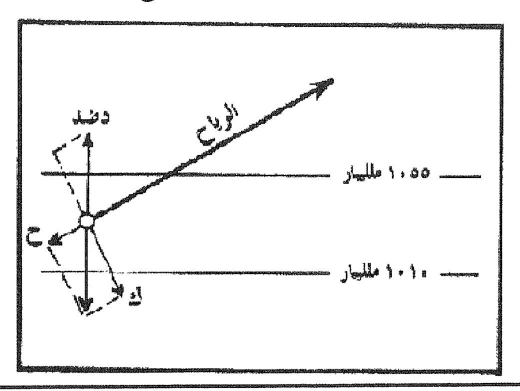
تزداد الحركة العمودية كلما ابتعدنا عن خط الاستواء باتجاه القطب، وتتناقص الحركة الموازية، سيما وأن الحركة العمودية تساوي صفراً عند خط الاستواء، وتبلغ أقصى حد لها عند القطبين. وبما أن قوة كوروليوس ترتبط بالحركة العمودية ارتباطاً مباشراً، فإنها تزداد بازدياد درجة العرض، أي أن قوة كوروليوس تتناسب طردياً مع جيب درجة عرض المكان؛ فجيب الزاوية صفر يساوي صفراً، بينما يصل جيب درجة عرض ٩٠° إلى واحد. ويزداد تأثير قوة كوروليوس كلما زادت سرعة الرياح، أي أن العلاقة بين قوة كوروليوس وسرعة الرياح علاقة طردية.

تشبه قوة كوروليوس قوة كبرى تؤثر في اتجاه الرياح، بينما يؤثر تحدر الضغط الجوي على سرعتها، ولكن تأثير قوة كوروليوس يتجه دائماً الى يمين القوة الناتجة عن تحدر الضغط الجوي، ويظل دائماً متعامداً عليها بحيث يصبح اتجاه الرياح في هذه الحالة محصلة للقوتين.

(٢-٣) الاحتكاك: (Friction)

تخفف خشونة السطح من سرعة الرياح. ولهذا فإن الرياح في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي الملاصقة لسطح الأرض مباشرة رياح راكدة تماماً. أما فوق تلك االطبقة فإن تأثير الاحتكاك يقل وتزداد سرعة الرياح بالارتفاع، بحيث يمكن إهمال تأثير عامل الاحتكاك تماماً في طبقات الجو العليا، واعتبار تحدر الضغط وقوة كوروليوس القوتين المسيطرتين على حركة الرياح. أما على سطح الأرض، فإن الاحتكاك يعد قوة ثالثة تؤثر في سرعة الرياح واتجاهها، ويكون في تأثيره معاكساً تماماً لتأثير تحدر الضغط الجوي. ولهذا فان اتجاه الرياح السطحية هو ـ في الواقع ـ محصلة لثلاث قوى هي تحدر الضغط وقوة كوروليوس والاحتكاك (شكل ٤٢).

شكل (٤٢) الرياح السطحية محصلة لثلاث قوى هي تناقص الضغط الجوي (د ضد) وقوة كوروليوس (ك) والإحتكاك (ح)



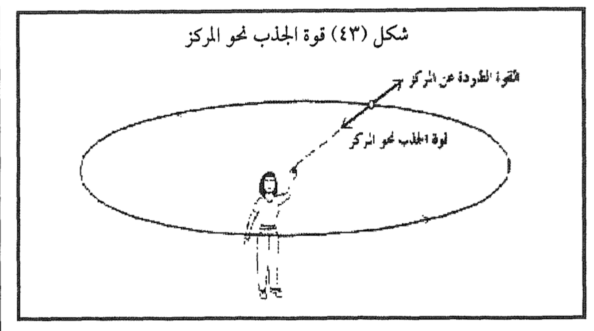
يختلف تأثير الاحتكاك على سرعة الرياح تبعاً لاختلاف خشونة السطح، لا سيما أنه قد بات ثابتاً أن تأثير العوارض الصغيرة في خشونة السطح يفوق تأثير العوارض

الكبيرة مثل التلال والجبال. تزيد خشونة سطح الأرض عامة، باستثناء المناطق المغطاة بالكثبان الرملية أو الجليد على خشونة المسطحات المائية بخمسة أضعـاف، مما يجعل الرياح فوق المسطحات المائية أسرع منها فوق اليابسة واشد انحرافاً إلى يمـين اتجاهـها. كما أن الرياح فوق المناطق السهلية أسرع منها فوق المناطق الوعرة، وسرعة الرياح في المدن الكبيرة أقل منها في المناطق الريفية المفتوحة.

لا يقتصر تأثير عامل الاحتكاك على التقليل من سرعة الرياح، بل يؤثر في اتجاهـها أيضاً، ويجعلها أقل انحرافاً، ويدفعها إلى قطع خطوط الضغط المتساوي بزوايا أقرب إلى العمودية. فالزاويــة الـتي تقطـع بـها الريـاح خطـوط الضغـط المتسـاوي فـوق المسطحات المائية تتراوح بين ١٠° - ٢٠° بينما تتراوح بين ٢٠° - ٤٠° فوق اليابسة.

(٢-٤) قوة الجذب نحو المركز

لا يوجد لهذه القوة تأثير كبير، إلا في بعض الحالات النادرة التي تدور فيـها الريـاح بقوة كبيرة ضمن مساحة صغيرة كما هو الحال في أعاصير التورنادو. وكما هو مبين في الشكل (٤٣)، فإن قوة الجذب نحو المركز تعادل القوة الطاردة عن المركز.



شكل (٤٣) قوة الجذب نحو المركز

(٣) تغير سرعة الرياح بالارتفاع:

تستمر زيادة سرعة الرياح بالارتفاع حتى ارتفاع أربعة كيلومترات تقريباً، حيث يتلاشى نهائياً أي تأثير لعامل الاحتكاك. وتتراوح سرعة الرياح الغربية في الأجزاء العليا من التروبوسفير بين ٣٠٠ - ٣٥٠ كم/ الساعة. إلا أنها تتناقص في الستراتوسفير إلى١٥٠ كم / الساعة، وتبلغ أدنى حد لها في طبقة الأيونوسفير حيث لا تزيد على ١٢ كم / الساعة.

وبما أن معدل تزايد سرعة الرياح بالارتفاع اكبر عندما تكون درجة الحرارة منخفضة، والهواء اقل اضطراباً، وأكثر استقراراً، فان معدل تزايد سرعة الريح بالارتفاع اكبر في الشتاء منه في الصيف، كما انه اكبر في الليل منه في النهار، وهو يزيد في المناطق الباردة والمعتدلة عليه في المناطق المدارية.

(٤) تغير اتجاه الرياح بالارتفاع:

يزداد تأثير قوة كوروليوس كلما ازداد الارتفاع، ولا سيما أنها تتناسب طرداً مع سرعة الرياح. ولهذا فإن انحراف الرياح يزداد كلما ازداد الارتفاع، إلا أن تصبح منحرفة عن اتجاهها الأصلي كلياً، وتصبح قوة كوروليوس هي القوة الوحيدة التي تتحكم في اتجاهها. يتحول اتجاه الرياح عند ذلك الحد تحولاً كلياً، فبدل أن تتجه من الجنوب إلى الشمال أو من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي، تصبح رياحاً غربية، وتسير موازية لخطوط الضغط المتساو. يعرف هذا النوع من الرياح التي تسود في طبقات الجو العليا بالرياح الجيوستروفية أو الرياح العليا.

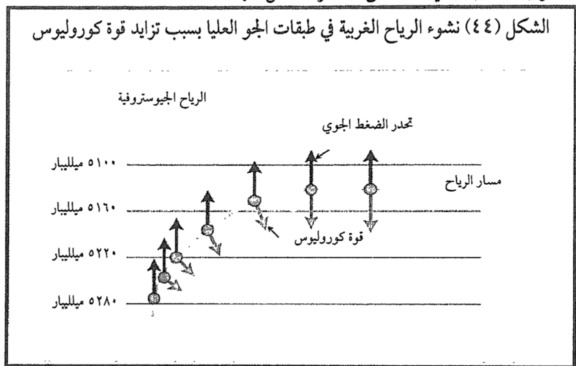
(٥) الرياح العليا أو الرياح الجيوستروفية (Geostrophic Winds)

بالرغم من كون الرياح السطحية رياحا متغيرة السرعة والاتجاه، إلا أن الرياح العليا تمتاز بالرتابة وثبات الاتجاه. وقد بات من المؤكد أن الرياح العليا في المناطق المعتدلة والباردة رياح غربية تهب موازية لخطوط تساوي الضغط ولا تقطعها وتعرف بالرياح الجيوستروفية أما في المناطق الاستوائية والمدارية، فان الرياح العليا رياح شرقية تماما.

ولعل السبب الرئيس في كون الرياح العليا في المناطق المعتدلة والباردة رياحاً غربية، هو انحرافها الكلي إلى يمين اتجاهها بفعل قوة كوروليوس،حيث إن الاتجاه الأصلي لهذه الرياح هو الجنوب، وهى تتجه من مناطق الضغط المداري المرتفع إلى المنطقة القطبية،إلا أن تأثير قوة كوروليوس يحرفها عن اتجاهها الأصلي كليا، ويجعلها رياحاً غربية (شكل ٤٤).

وقد بات من الثابت أن الرياح العليا تؤثر تأثيراً كبيراً في حالة الطقس قرب سطح الأرض، أي أنها تتحكم إلى حد كبير في حركة الاضطرابات الجوية السطحية وقوتها ومدتها وغير ذلك من مظاهر الطقس المهمة.

الشكل (٤٤) نشوء الرياح الغربية في طبقات الجو العليا بسبب تزايد قوة كوروليوس



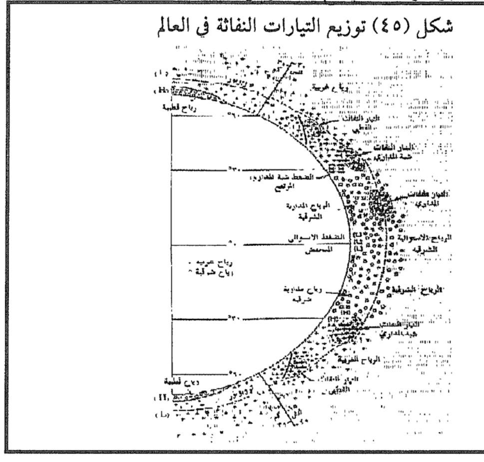
(٦) التيارات النفاثة (Jet Streams)

التيار النفاث مصطلح مناخي يطلق على نطاق طولي من الرياح العليا شديدة السرعة تتجاوز سرعة بعضها ٣٨٥كم/ الساعة. ويزيد سمك التيار النفاث على ١٠٠٠متر، ويتراوح عرضه بين ٥٠٠ - ٦٥٠ كيلو متر، ويقترن ظهوره في السماء بنطاق طويل من السحب شديدة الارتفاع (شكل ٣٨).

يتغير المستوى الذي توجد عليه التيارات النفاثة بين الصيف والشتاء، وهو يزيد عموما على سبعة كيلومترات. إلا أن بعض التيارات النفاثة التي تزيد سرعة الرياح فيها على ١٠٠كم/الساعة تظهر أحيانا بشكل مفاجئ على ارتفاعات منخفضة جدا لا تزيد على ٣٠٠ متر، وتشكل خطرا كبيرا على الطيران المنخفض خاصة في الليل[(١)].

يوجد في النصف الشمالي عادة تياران نفاثان رئيسيان، يعرف الأول منهما بالتيار القطبي النفاث (Polar Jet Stream)، ويتفق موقعه مع موقع الجبهة القطبية. ويعرف الثاني بالتيار النفاث شبه المداري (Sub-tropical Jet Stream)، ويتفق موقعه مع نطاق الضغط المداري المرتفع، ويتطابق طرفه الشمالي مع خط عرض ٣٠ شمالا (شكل ٤٥).

شكل (٤٥) توزيع التيارات النفاثة في العالم



(١) لمزيد من التفصيلات انظر الموقع التالي على شبكة الانترنيت:

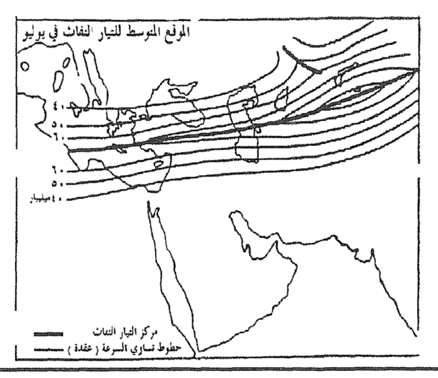
(http://www.usatoday.com/weatherwjet1.hml)

أهم المناطق التي توجد فيها التيارات النفاثة - عموما - هي المنطقة الواقعة بين درجتي عرض ٣٠ - ٣٥ ، مما يدل على وجود علاقة قوية بين الموقع المفضل لتلك التيارات وبين معدل انتقال الطاقة بين المناطق المدارية والقطبي، الذي يبلغ أقصاه عند خط عرض ٣٥ شمالا. ولا تظهر التيارات النفاثة على الخرائط المناخية لأنها تغير موقعها من يوم لآخر، ولأنه يوجد أكثر من تيار واحد في طبقة التروبوسفير.

ويلاحظ أن التيارات النفاثة أقوى في الشتاء منها في الصيف، كما أن مساراتها في النصف الشمالي تتزحزح خلال فصل الشتاء باتجاه الجنوب بحيث تصبح جهات واسعة من حوض البحر المتوسط معرضة لتلك التيارات. أما في الصيف فإن تلك التيارات تضعف كثيرا ويرتفع منسوبها عن سطح الأرض كما تتزحزح مساراتها شمالا (شكل ٤٦)، ولعل ذلك يرتبط أيضا بمدى الفرق في درجة الحرارة بين المناطق المدارية والقطبية، الذي يزيد في الشتاء عليه في الصيف.ولهذا يلاحظ أن سرعة الرياح الجيوستروفية في الشتاء تزيد على ضعف سرعتها في الصيف.

شكل (٤٦) موقع التيار النفاث الموجود على مستوى ٢٠٠ ميلليبار فوق حوض البحر المتوسط خلال فصل الشتاء

شكل (٤٧) موقع التيار النفاث الموجود على مستوى ٢٠٠ ميلليبار فوق حوض البحر المتوسط خلال فصل الصيف



تختلف درجة الحرارة على جانبي التيار النفاث، إذ يوجد الهواء البارد على الجهة القطبية من التيار، بينما يتجمع على الجهة المدارية هواء دافئ. وتتزحزح مواقع التيارات النفاثة نحو الجنوب في الشتاء ونحو الشمال في الصيف. وترتبط الاضطرابات الجوية السطحية مع التيارات النفاثة ارتباطا وثيقا، فموقع الجبهة القطبية (Polar Front) التي تتكون على طولها الجبهات الجوية التي تتعرض لها المناطق المعتدلة والباردة يرتبط بمواقع التيارات النفاثة. وإذا كان من غير الثابت أن التيارات النفاثة هي السبب الرئيس في تلك نشوء تلك المنخفضات، فإن من المؤكد أن تلك التيارات تتحكم ـ إلى حد كبير ـ في حركتها واتجاهاتها، وفي التعرجات التي تظهر في مساراتها أحيانا وهي تؤثر على سقوط الأمطار وكثير من مظاهر الطقس الأخرى.

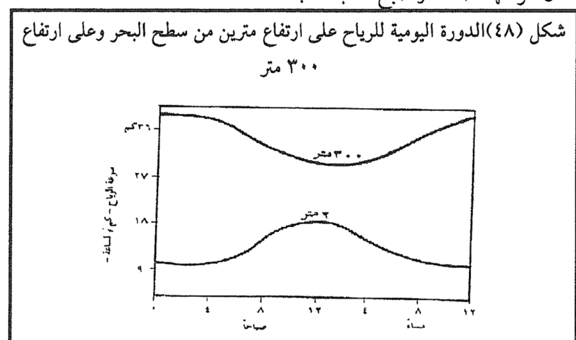
لا يقتصر تأثير التيارات النفاثة على الظروف الجوية فقط، بل ان لها تأثير كبير أيضا على طرق الملاحة الجوية، فالطيارون يحاولون دائما أن يحلقوا مع اتجاه تلك التيارات

حيث يزيد ذلك من سرعتهم، ويوفر استهلاك الوقود. فطول الرحلة عبر الأطلسي عندما تكون الطائرة مع تيار نفاث أقل بنصف ساعة من الوقت المحدد لها في العادة.

(٧) المسار اليومي للرياح

يمتاز المسار اليومي للرياح السطحية ـ ولا سيما في الأيام الهادئة التي تخلو من تأثير الجبهات أو المنخفضات الجوية ـ بنمط معين، يختلف اختلافا تاما عن المسار اليومي للرياح الأعلى. فالرياح السطحية غالبا ما تكون ـ خلال الليل ـ رياحا هادئة متقلبة الاتجاه. تأخذ سرعة الرياح ـ بعد شروق الشمس ـ بالزيادة المضطردة إلى أن تبلغ أقصى حد لها بعد الظهر، ثم تبدأ في التناقص بعد ذلك، إلى أن تبلغ أدنى حد لها قبيل شروق الشمس مباشرة. أما اتجاهها فهو أكثر انتظاما وأقل تقلبا في النهار منه في الليل (شكل ٤١).

يمثل المسار السابق التغير اليومي لسرعة الرياح واتجاهها ضمن طبقة الهواء القريبة من سطح الأرض. أما المسار اليومي للرياح الواقعة على ارتفاعات أعلى فيختلف اختلافا تاما عن ذلك المسار، فهي أقوى في الليل واتجاهها أكثر ثباتا، أما في النهار فان سرعتها تضعف وتصبح متقلبة الاتجاه.



شكل (٤٨) الدورة اليومية للرياح على ارتفاع مترين من سطح البحر وعلى ارتفاع ٣٠٠ متر

يرتبط المسار اليومي لسرعة الرياح بالمسار اليومي لدرجة حرارة، فارتفاع درجة الحرارة خلال النهار يجعل الهواء القريب من سطح الأرض خفيفا، مما يدفعه إلى أعلى ليحل محله هواء أقل حرارة قادم من الطبقات الجوية الواقعة فوقه، وبما أن الهواء الذي يرتفع إلى أعلى ينتقل من مستويات سرعة الرياح فيها قليلة إلى مستويات سرعة الرياح فيها أشد وأقوى، وأنه يبقي محافظا على سرعته الأصلية التي اكتسبها من المستوى الذي صعد منه، فانه يسبب ركودا في سرعة الرياح ضمن طبقات الجو التي يصلها. أما الهواء الهابط من أعلى فيسبب نشاطا كبيرا للرياح السطحية، ولا سيما أن سرعته أعلى من سرعة الرياح السطحية.

أما في الليل، فان درجة حرارة سطح الأرض تأخذ في الانخفاض، ويصبح الهواء السطحي مستقرا، ويتناقص سمك طبقة الهواء المضطرب التي كانت موجودة في النهار، ويضعف تبادل الهواء بين المستويات المختلفة القريبة من سطح الأرض، فلا يأتي إلى السطح أي هواء من أعلى، ولا يصعد هواء من السطح. ويتوقف انتقال قوة الدفع الذي كان سائدا في النهار. وهذا يجعل الرياح السطحية بطيئة، بينما الرياح الأعلى أكثر سرعة وأثبت اتجاها.

(٨) أنواع الرياح

يمكن التمييز بين أربعة أنواع من الرياح تبعا لنظام هبوبها، كالآتي:

- الرياح الدائمة: وهي الرياح التي تتحكم فيها النطاقات الرئيسة للضغط الجوي في العالم.
- الرياح الموسمية: وهي الرياح التي يتغير اتجاهها بين الصيف والشتاء.
- الرياح المحلية الدورية: وهي الرياح التي يتغير اتجاهها بين الليل والنهار.
- الرياح المحلية: وهي الرياح التي ترافق المنخفضات الجوية.

(٨-١) الرياح الدائمة:

تمتاز بعض المناطق برياح سائدة معظم أيام السنة. ويرتبط هبوب تلك الرياح بالتوزيع العام لنطاقات الضغط الجوي الرئيسة التي سبق ذكرها في الفصل السابق.

ويبين شكل(٣٠) الذي سبقت الإشارة إليه التوزيع الجغرافي للضغط الجوي والنطاقات الرئيسة للرياح الدائمة في شهري يناير ويوليو، وأهم تلك الرياح هي:

(٨-٢) الرياح التجارية:

وهي الرياح التي تهب من مراكز الضغط المداري المرتفع إلى منطقة الضغط الاستوائي المنخفض. ونظرا لتأثير قوة كوروليوس في تلك الرياح فإنها تنحرف إلي يمين اتجاهها في النصف الشمالي، وإلى يسار اتجاهها في النصف الجنوبي. ولذا، فإن تلك الرياح في النصف الشمالي رياح شمالية شرقية، أما في النصف الجنوبي فهي رياح جنوبية شرقية.

والرياح التجارية من أكثر الرياح الدائمة على سطح الأرض ثباتا في الاتجاه، إلا في المنطقة الاستوائية، حيث تتلاشى قوة كوروليوس تقريبا، وتصبح الرياح السائدة رياح خفيفة متغيرة الاتجاه. ومع هذا، فان الفكرة القديمة السائدة عن الانتظام الشديد لاتجاه هذه الرياح فكرة مبالغ فيها كثيرا. والرياح التجارية في الغالب رياح جافة، إلا إذا مرت على مسطحات مائية كبيرة، فإنها تتحمل ببخار الماء، وتؤدي إلى سقوط الأمطار.

تختلف رطوبة الرياح التجارية التي تهب على السواحل الشرقية للقارات عن التي تهب على السواحل الغربية. فالرياح التجارية التي تهب على السواحل الشرقية، تكتسب ـ نتيجة لمرورها على مسطحات مائية ـ كميات كبيرة من بخار الماء، مما يجعلها رياحا رطبة ماطرة، كما هو الحال على السواحل الشرقية لجنوب افريقيا. أما الرياح التجارية التي تتعرض لها السواحل الغربية للقارات، فإنها ـ في الغالب ـ رياح جافة محملة بالغبار، وذلك لمرورها على مساحات واسعة من اليابسة.

(ب) الرياح الغربية: وهي الرياح السائدة في المناطق المعتدلة الواقعة بين خطي عرض ٣٥-٦٠ ، وهي تهب من مراكز الضغط المداري المرتفع إلى المناطق المعتدلة ذات الضغط المنخفض. ولذا فإن تلك الرياح جنوبية غربية في النصف الشمالي، وشمالية غربية في النصف الجنوبي. تختلف الرياح الغربية عن الرياح التجارية بكثرة ما يحدث في اتجاهها من اضطراب ولا سيما خلال فصل الشتاء الذي يكثر فيه حدوث المنخفضات الجوية.

والرياح الغربية - عموما - رياح دافئة تجلب إلى المناطق التي تهب عليها الدفء والحرارة والرطوبة. وهي أكثر قوة على السواحل الغربية للقارات، منها على السواحل الشرقية حيث تختفي أحيانا، وتحل محلها الرياح الموسمية كما هو الحال في شرقي آسيا.

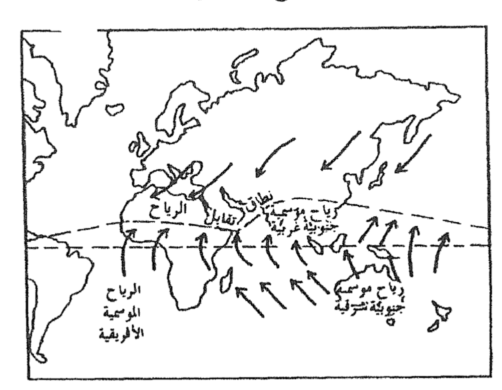
(جـ) الرياح القطبية: الرياح السائدة في المناطق القطبية رياح شمالية شرقية في النصف الشمالي، وجنوبية شرقية في النصف الجنوبي، وهي رياح باردة وقليلة الرطوبة تهب من مراكز الضغط القطبي المرتفع باتجاه الضغط الجوي المنخفض الذي يتمركز حول الدائرة القطبية.

(٨-٢) الرياح الموسمية

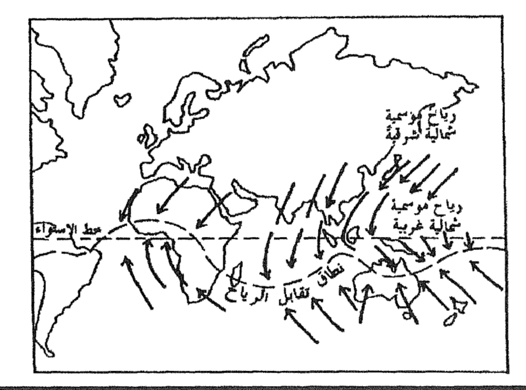
يطلق مصطلح الرياح الموسمية ـ عموما ـ على الرياح التي يتغير اتجاهها بين الصيف والشتاء. وعلى الرغم من حدوث هذه الظاهرة في مناطق كثيرة من العالم إلا أن أهم منطقة تظهر فيها هي منطقة جنوب شرق آسيا الذي تهب عليه في الصيف رياح موسمية جنوبية دافئة رطبة تسقط منها أمطار غزيرة، ولا سيما على الجهات الجبلية المرتفعة (شكل ٤٩). ويتعرض خلال فصل الشتاء لرياح شمالية باردة قادمة من وسط القارة (شكل ٥٠).

لقد أصبح واضحا الآن عجز النظرية الكلاسيكية القديمة التي تعتمد في تفسير نشأة الرياح الموسمية على الاختلاف في توزيع الضغط الجوي خلال فصلي الشتاء والصيف بين وسط القارة والمسطحات المائية المجاورة، ولا سيما أن الضغط المرتفع الذي يتمركز في وسط القارة في الشتاء لا يظهر إلا ضمن طبقة ضحلة من التروبوسفير، ويختفي تماما على مستوى الضغط ٧٠٠ ميللبيار.

شكل (٤٩) الرياح الموسمية في الصيف



شكل (٥٠) الرياح الموسمية في الشتاء



أما النظريات الحديثة التي فتعتمد في تفسير نشأة الرياح الموسمية على مجموعة من العوامل منها:

- اتساع القارة الآسيوية واتصالها بأوربا مما يساعد على زحزحة نطاق الضغط الاستوائي المنخفض في الصيف حتى دائرة عرض ٢٥° - ٣٠° شمالاً.
- يساعد الضغط الجوي المنخفض الذي يتكون في وسط القارة في الصيف على زيادة جذب الرياح الموسمية شمالاً حتى يصل تأثيرها الى الجزر اليابانية ومنشوريا.
- اعتراض هضبة التبت لمسارات الرياح الغربية العليا. فقد اصبح واضحاً ان الرياح السائدة في طبقات الجو العليا في جنوب آسيا هي رياح غربية، حتى ولو كانت الرياح السطحية هي رياح موسمية.
- تجاور مساحة واسعة من اليابسة ممثل في أوراسيا مع مساحة واسعة من المسطحات المائية مثل المحيط الهادئ والهندي.

ويلحظ من الخرائط التي تبين مسارات الرياح الغربية العلوية في الشتاء أن هضبة التبت التي يزيد ارتفاعها على ٤٠٠ متر، تعترض مسارات تلك الرياح وتفصلها إلى نطاقين يقع أحدهما جنوبي تلك الهضبة، ويقع الثاني شمالها. يكتسب النطاق الجنوبي خلال فصل الشتاء مزيداً من القوة، ويظهر فيه تيار نفاث قوي، يشكل حاجزاً قوياً يمنع الرياح الموسمية القادمة من المسطحات المائية من التوغل بعيداً نحو الداخل، بل انه يجذب رياحاً شمالية باردة من مراكز الضغط المرتفع الذي يتكون في شمال غرب الهند وشرق الباكستان.

أما في بداية فصل الصيف ـ ولا سيما خلال الأسبوع الأخير من مايو، فإن النطاق الجنوبي للرياح الغربية ينهار تقريباً ويضمحل بشكل كبير، ويتزحزح شمالاً. ويتكون في الرياح التجارية الشمالية الشرقية تيار نفاث حول خط عرض ١٥° شمالاً، ويتمركز فوق شمالي الهند مركز ضغط جوي منخفض، مما يساعد الرياح الموسمية الصيفية على الوصول إلى وسط القارة.

(٨-٣) الرياح المحلية الدورية:

تشهد المناطق الساحلية تغيرا يومياً لاتجاه الرياح بسبب حدوث نسيم البر والبحر، كما تشهد بعض المناطق الجبلية تغيراً آخر بسبب نسيم الوادي والجبل. وبما أن التغير في هذه الرياح شبه دوري، فإننا نميز بينها وبين الرياح المحلية التي ترافق المنخفضات الجوية التي لا يكون التغير في هبوبها دورياً.

(أ) نسيم البر والبحر:

العامل الرئيس الذي يحرك نسيم البر والبحر هو الاختلاف في درجة الحرارة والضغط الجوي بين اليابسة والبحر. فدرجة حرارة اليابسة في النهار أعلى من درجة حرارة المسطحات المائية المجاورة لها، كما أن الضغط الجوي فوقها أقل منه فوق المسطحات المائية، ولهذا تهب الرياح خلال النهار من البحر باتجاه اليابسة، وتعرف بنسيم البحر. أما أثناء الليل فتصبح درجة حرارة اليابسة أقل من درجة حرارة المسطحات المائية، كما يصبح الضغط الجوي فوقها أقل منه فوق المسطحات المائية مما يؤدي إلى هبوب الرياح من اليابسة إلى البحر على شكل نسيم بر.

يظهر نسيم البحر واضحاً في الأيام التي تخلو من تأثير الاضطرابات الجوية ويبدأ في الظهور بين الساعة العاشرة والحادية عشر صباحاً، ويبلغ أقصى قوته بين الساعة الواحدة والنصف والثانية بعد الظهر. إلا أنه يأخذ في الضعف والانحسار بين الساعة الثانية والثامنة مساء. أما في الأيام التي تحدث فيها اضطرابات جوية، فان الرياح المحلية المرافقة لتلك الاضطرابات تطغى على نسيم البر والبحر، وتقضي عليه.

يختلف طول المسافة التي يمكن لنسيم البحر أن يصل إليها في اليابسة تبعاً لعدد من العوامل أهمها: مساحة المسطح المائي، وطبيعة الساحل، واتجاه الرياح السائدة والمدى اليومي لدرجة الحرارة، ونسبة تغطية السماء بالسحب، وعوامل أخرى. وهي تتراوح في المناطق المعتدلة بين ١٥ - ٥٠ كم، بينما يصل في المناطق المدارية إلى أكثر من ٦٠ كم. إما إذا اتفق اتجاه نسيم البحر مع اتجاه الرياح السائدة، فانه يصل إلى مسافات ابعد من ذلك بكثير، كما هو الحال في بعض السواحل العربية

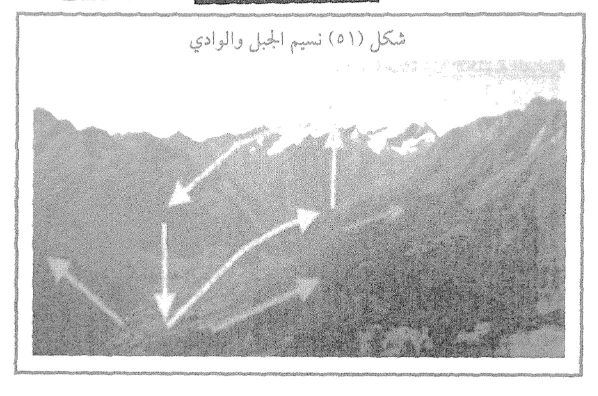
المطلة على الخليج العربي حيث يصل تأثير نسيم البحر ـ أحياناً إلى أماكن بعيدة عن الساحل.

والواقع أن نسيم البحر أقوى من نسيم البر، خاصة وأن الاحتكاك بسطح الأرض الخشن، يفقد نسيم البر قوته، ويقضي عليه أحياناً. ولذا، فإن عدداً كبيراً من ساعات الليل التي يفترض أن يهب خلالها نسيم البحر تكون الرياح فيها هادئة ومتغيرة الاتجاه.

(ب) نسيم الجبل والوادي:

تسخن سفوح الأودية المواجهة لأشعة الشمس أكثر من قيعانها، مما يؤدي إلى تمدد الهواء وارتفاعه على تلك السفوح على شكل نسيم وادي أو رياح سفحية صاعدة. أما في الليل فان درجة حرارة تلك السفوح تنخفض كثيراً، ويهبط الهواء منها إلى قيعان الأودية، على شكل نسيم الجبل الذي يطلق عليه أحياناً رياح السفوح الهابطة شكل (٥١). ونسيم الوادي والجبل لهما دور مهم في منع تكون الصقيع على سفوح الأودية، والحد من نمو طبقة الهواء البارد أثناء الليل. وكما هو الحال، في نسيم البر والبحر، فإن نسيم الجبل أقوى في العادة من نسيم الوادي الذي يهب من أسفل إلى أعلى، معاكساً لاتجاه الجاذبية، مما يضعفه ويقضي عليه.

شكل (٥١) نسيم الجبل والوادي



(٨-٤) الرياح المحلية المرافقة للمنخفضات الجوية

يرافق المنخفضات الجوية التي تتعرض لها المناطق المعتدلة، اضطرابات في مسارات الرياح السائدة، وظهور رياح محلية لا تتفق مع النمط العام للرياح. ويطلق على تلك الرياح أسماء محلية تختلف من مكان لآخر، وهي لا تدوم عادة إلا أياما معدودة، وتنتهي بامتلاء المنخفض وتلاشيه. ويمكن أن نميز في هذه الرياح بين ثلاث مجموعات هي:

أ-الرياح الدافئة ب-الرياح الباردة ج-رياح الفهن.

(أ) الرياح الدافئة:

تهب في مقدمة المنخفضات الجوية وهي في الغالب رياح جنوبية مثل رياح الخماسين والسيروكو والسموم وغيرها. ولا مجال لذكر كل الرياح المحلية في العالم ونكتفي بذكر بعضها فقط (شكل ٥٢):

- رياح الخماسين: وهي رياح حارة جافة، تهب على مصر في فصل الربيع قادمة من الصحراء الكبرى وتؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة، وازدياد نسبة الغبار في الجو.

- السيروكو: عندما تقطع رياح الخماسين البحر المتوسط، وتصل إلى السواحل الجنوبية لأوروبة، فإنها تعرف بالسيروكو، وهو مأخوذة من الكلمة العربية "الشرقية". وعندما تصل هذه الرياح إلى سواحل أوربا، فإنها تكون قد تحملت بالرطوبة وتؤدي إلى سقوط الأمطار.
- القبلي: وهي نوع آخر من رياح الخماسين تهب على أقطار المغرب العربي قادمة من الصحراء الكبرى.
- السموم: تهب هذه الرياح على بعض جهات الجزيرة العربية وشمالي افريقيا وهي مثل رياح الخماسين رياح حارة جافة محملة بالغبار.

(ب) الرياح الباردة:

تهب هذه الرياح في مؤخرة المنخفضات الجوية، واتجاهها في الغالب شمالي ومن أشهر الأمثلة عليها:

- رياح المسترال (Mistral): وهي رياح قطبية شمالية باردة، تهب على جنوبي فرنسا ولا سيما وادي الرون، وتبلغ قوتها حدا كبيرا يسبب ضيق الوادي وهبوط الهواء البارد من سفوح الجبال المحيطة بالوادي.
- البورا (Bora): وهي نوع من رياح الجاذبية (Gravity Wind)، حيث تساعد ظروف سطح هضبة دلماشيا على تجمعها في المنخفضات. وينحصر هبوبها على جزء من ساحل دلماشيا.

شكل (٥٢) الرياح المحلية

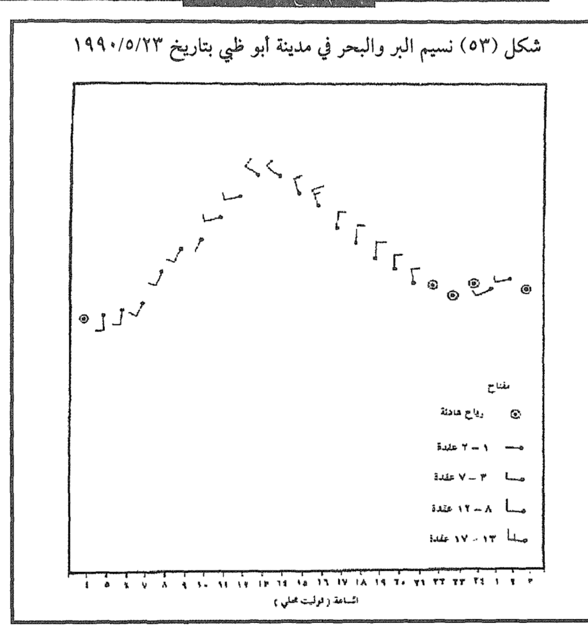
- رياح الفهن: تزداد درجة حرارة بعض الرياح المحلية، نتيجة لهبوطها إلى سفوح جبلية مرتفعة ومن الأمثلة عليها، رياح الفهن التي تتعرض لها السفوح الشمالية لجبال الألب، خاصة الواقع منها في سويسرا، وتؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة على تلك السفوح وذوبان الثلج. أما رياح الشنوك فتظهر على السفوح الشرقية لجبال روكي وتشبه الفهن تماماً، وتؤدي الى ارتفاع درجة الحرارة اكثر من ٢٠° م في وقت قصير جدا.

(٩) حالة دراسية : نسيم البر والبحر في مدينة أبو ظبي

(٩-١) نسيم البحر:

يعد نسيم البحر أهم ظواهر الطقس التي تتعرض لها مدينة أبو ظبي وأكثرها انتظاماً، حيث يتكرر حدوثه في كل يوم، عدا الأيام القليلة ذات الطقس غير المستقر، وهو يهب عادة وقت الظهر، ويستمر حتى ساعات المساء، وتصل أقصى سرعة له إلى ١٥ عقدة (شكل ٥٣)

شكل (٥٣) نسيم البر والبحر في مدينة أبو ظبي بتاريخ ١٩٩٠/٥/٢٣

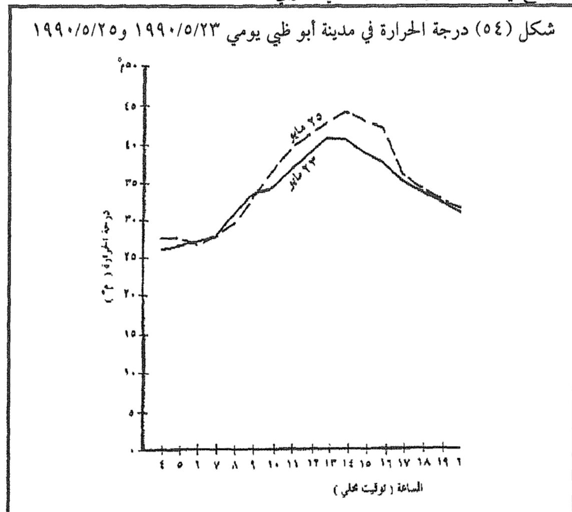


يؤدي هبوب نسيم البحر أحيانا إلى تكون جبهة جوية محلية (Local Rront) تصل سرعة الرياح المصاحبة لها إلى ٢٥ عقدة، خاصة في أواخر الربيع وأوائل الصيف، عندما يكون الفرق في درجة الحرارة بين اليابسة والماء على أشده. إلا أن أيا من تلك الجبهات لا يدوم أكثر من نصف ساعة على الأكثر.

يظهر تأثير نسيم البحر واضحاً في عدد من عناصر المناخ الرئيسة مثل: درجة الحرارة والرطوبة النسبية، وسرعة الرياح واتجاهها. إذ يؤدي نسيم البحر إلى خفض درجة الحرارة العظمى في معظم النهار (شكل ٥٤). إلا أن سكان المدينة

لا يشعرون بأثره على خفض درجة الحرارة لما يرافقه من ارتفاع في الرطوبة النسبية التي تضاعف من إحساسهم بارتفاع درجة الحرارة. أما بالنسبة إلى اتجاه الرياح، فان من الجدير بالذكر، أن اتجاه نسيم البحر في مدينة أبو ظبي يتفق مـع الاتجاه السـائد للرياح في المدينة وهو الاتجاه الشمالي الغربي.

شكل (٥٤) درجة الحرارة في مدينة أبو ظبي يومي ١٩٩٠/٥/٢٣ و١٩٩٠/٥/٢٥



(٩-٢) نسيم البر:

تتعرض المدينة في ساعات الصباح الأولى إلى هبوب نسيم البر، ولا سيما أن نسـيم البحر يكون قد ضعف كثيراً وتلاشى، كما تصبح درجة حـرارة اليابسـة أقـل مـن حرارة مياه الخليج، مما يؤدي إلى تكون ضغط مرتفع فوق اليابسة وضغط منخفـض فوق الماء، ويتراوح اتجاه نسيم الـبر بين الجنوبي والجنوبـي الشـرقي. وهـو عـادة أضعف من نسيم البحر بكثير، وتـتراوح سـرعته بـين ٣ - ٥ عقـدة، لكنـه يشـتد

أحيانا إلى الحد الذي يصبح فيه قادراً على منع الرياح الشمالية الغربية من الوصول إلى المدينة. وبخلاف نسيم البحر الذي يبلغ أقصى قوته في الصيف، فإن نسيم البر يكون قوياً في الشتاء وضعيفاً في الصيف.

ومن أهم الآثار البيئية لنسيم البر على المدينة أنه الوسيلة الرئيسة التي تنقل الضباب إليها. فالضباب الذي تتعرض له المدينة في ساعات الصباح الأولى ـ ولا سيما خلال فصل الشتاء يتكون فوق اليابسة في الداخل، ثم يحمله نسيم البر عند الفجر باتجاه المدينة.

وعلى كل حال، فإن نسيم البر والبحر لا يزيد من الناحية الميتيورولوجية على كونه ظاهرة سطحية تظهر يومياً في طبقة الهواء السفلى الملاصقة لسطح الأرض لكنها لا تظهر أبداً في طبقات الجو الأعلى. إلا أن آثاره البيئية التي يشعر بها كل سكان المدينة آثار كبيرة.

نشاطات الفصل الخامس

النشاط الأول: يتضمن الموقع التالي

(http://www.weatherwizkids.com/wind1.htm)

تقريرا علميا عن الرياح. ويتضمن ذلك التقرير جدولا خاصا يصنف الرياح وفقا لسرعتها إلى فئات حسب مقياس خاص يعرف بمقياس بيفورت (Beaufort) نسبة إلى ضابط البحرية البريطاني المعروف Francis Beaufort سنة ١٨٠٦. الذي قام بتصنيف الرياح إلى ١٢ فئة. والمطلوب هو كتابة تقرير علمي قصير عن ذلك الموضوع وتضمينه في ملف الإنجاز العلمي للطالب، والاستعداد لتقديم ذلك التقرير في الصف مستخدما التكنولوجيا المناسبة.

النشاط الثاني: يمثل الشكل (٥٥) الرياح المحلية في حوض البحر المتوسط. والشكل مأخوذ من الموقع التالي على شبكة الانترتيت:

http://www.islandnet.com/~see/weather/almanac/arc2007/alm07mar.htm

والمطلوب هو

أ: عرض ذلك الشكل في قاعة التدريس، وتقسيم الطلبة الى مجموعات تركيز (Focus Groups) ثم قيام رئيس كل مجموعة بتقديم التحليل الخاص بمجموعته لكل طلبة الصف.

شكل (٥٥) الرياح المحلية في حوض البحر المتوسط

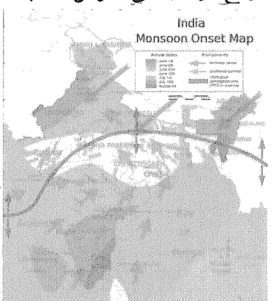


النشاط الثالث: يمثل الشكل (٥٦) الرياح الموسمية التي تتعرض لها شبه القارة الهندية، والشكل مأخوذ من المقال التالي على شبكة الانترنيت:

http://en.wikipedia.org/wiki/Image:India_southwest_summer_monsoon_onset_map_en.svg

المطلوب الرجوع إلى ذلك المقال وقراءته ثم كتابة تقرير مختصر عن نظام الرياح الموسمية التي تتعرض لها شبه القارة الهندية.

شكل (٥٦) الرياح الموسمية التي تتعرض لها شبه القارة الهندية



الفصل السادس

الرطوبة

(١) دورة الماء في النظام الأرضي:

لا تزيد نسبة الماء الذي يوجد في الغلاف الجوي في أية لحظة على ٠١، ٠ ٪ من الغلاف المائي. ومع ذلك، فانه يشكل عنصراً هاما من عناصر الطقس، ويلعب دور رئيسا في تكون السحب والضباب والندى. وهو المسؤول عن جميع مظاهر الطقس الرئيسة مثل الأعاصير والاضطرابات الجوية الأخرى.

وأهم الوظائف الرئيسة التي يقوم بها بخار الماء في النظام الأرضي هي:

١ - الماء هو المادة الوحيدة التي توجد ضمن المدى الحراري الحالي للنظام الأرضي في الحالات الثلاثة للمادة وهي: الصلابة والسيولة والغازية. ويوجد معظم الغلاف المائي على شكل مياه مالحة، فالمسطحات المائية تغطي اكثر من ٧١٪ من الكرة الأرضية. ولهذا فإن اكثر من ٥,٩٧٪ من الغلاف المائي موجود على شكل مياه مالحة في البحار والمحيطات. ولا تزيد نسبة المياه العذبة على ٤٩,٠٪ من الغلاف المائي، وتوجد على شكل مياه عذبة في البحيرات والأنهار. ويكون الجليد المتراكم في المناطق القطبية وعلى رؤوس السلاسل الجبلية المرتفعة ٢٪ من الغلاف المائي. ولهذا فإن نسبة الماء الموجود على شكل بخار في الغلاف الجوي لا تزيد على ٠١,٠٪.

والماء في حركة مستمرة، فهو يتحول ـ عندما يذوب ـ من الصلابة إلى السيولة، ويتحول ـ عندما يتبخر ـ من السيولة إلى الغازية، ويتحول - عندما يتكاثف ويسقط على شكل أمطار أو برد أو ثلج - من الحالة الغازية إلى السيولة. وتعرف دورة المياه في النظام الأرضي بالدورة الهيدرولوجية، وهي لا تتضمن تحول الماء من شكل لآخر فحسب، بل تتضمن أيضاً تبادلا كبيرا للطاقة. فالماء عندما يتبخر من

المسطحات المائية يستمد الطاقة اللازمة لتبخره من المسطح المائي نفسه، وتعرف تلك الطاقة بالحرارة الكامنة للتبخر، وهي تساوي ٥٧٣ سعراً حرارياً لكل غرام من الماء. أما عندما يتكاثف في الغلاف الجوي، فإنه يطلق نفس الكمية من الطاقة وتعرف بالحرارة الكامنة للتكاثف.

٢ - ينظم بخار الماء وصول أشعة الشمس إلى سطح الأرض، كما انه يحجز معظم الإشعاع الأرضي، ولا يسمح له بالهروب إلى الفضاء، ويبقيه قريباً من سطح الأرض ولهذا لا تنخفض درجة الحرارة كثيرا ويبقى المدى اليومي والسنوي لدرجة الحرارة في المناطق البحرية معتدلا.

٣- تستمد الاضطرابات الجوية العنيفة جزءا كبيرا من طاقتها نتيجة تكاثف بخار الماء الموجود فيها، فأعاصير التورنادو والهاريكين وغيرها من الاضطرابات الجوية العنيفة تستمد طاقتها التدميرية الهائلة من تكاثف بخار الماء. ولهذا فان تلك الأعاصير تضعف ويدب فيها الوهن بعد أن تدخل اليابسة، لأنها تكون قد ابتعدت عن البحر، وهو المصدر الرئيس لتزويدها بالماء وتعويضها عن الكميات الهائلة من الأمطار التي تصاحبها.

٤- يؤثر وجود بخار الماء في الجو في حالات عدم الاستقرار الجوي التي تمتاز بها بعض الكتل الهوائية.

٥- تؤثر الرطوبة النسبية في استمرار عملية التبخر من سطح الأرض والمسطحات المائية فكلما كانت الرطوبة منخفضة استمرت عملية التبخر بسرعة، شريطة أن يكون الإشعاع الشمسي متوفراً،أما إذا ارتفعت الرطوبة، فإن عملية التبخر تضعف.

يتركز الجزء الأكبر من بخار الماء في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي، بل إن أكثر من نصف بخار الماء يقع دون مستوى ٥٠٠ ميلليبار، ويقع كل بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي دون مستوى ١٠ كم تقريباً. ولا تختلف كمية هذا البخار بالارتفاع فقط، بل إنها تختلف من مكان لآخر ومن وقت لآخر. فالمناطق الاستوائية والمعتدلة هي أكثر مناطق العالم رطوبة، بينما تعد المناطق المدارية والقطبية أقلها. وتختلف نسبة بخار الماء في الغلاف الجوي من ١ ميلليبار في المناطق الصحراوية الجافة، إلى ١٠٠ ميلليبار في المناطق الاستوائية.

(٢) مقاييس الرطوبة

أهم المقاييس المستخدمة للتعبير عن مقدار الرطوبة الجوية هي:

(أ) ضغط بخار الماء (Vapor Pressure)

ذكرنا عند الحديث عن الضغط الجوي، أنه مجموع ضغوط الغازات التي تدخل في تركيب الهواء. وبما أن بخار الماء، هو أحد الغازات التي تدخل في تركيب الغلاف الجوي فإنه يشارك في تحديد ذلك الضغط. ويختلف ضغط بخار الماء، تبعا لاختلاف مقدار بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي، فإذا كانت نسبة بخار الماء في الجو مرتفعة، يرتفع ضغطه، وإذا كانت قليلة،انخفض ضغطه.

إلا أن نسبة بخار الماء في الغلاف الجوي لا تستمر بالارتفاع إلى ما لا نهاية، بل تصل إلى حد معين يصبح الهواء عنده مشبعاً، ولا يستطيع أن يتحمل أية كمية إضافية ويعرف ضغط بخار الماء عند هذا الحد بالضغط المشبع لبخار الماء (Saturation vapor pressure). وكما هو مبين في الجدول (١) في الملحق (٣)، فان مقدار الضغط المشبع لبخار الماء يعتمد اعتماداً كلياً على درجة الحرارة. فكلما ارتفعت درجة الحرارة يرتفع الضغط المشبع، ويقل إذا انخفضت درجة الحرارة. فهو مقياس لمقدرة الهواء على حمل بخار الماء ولا يرتبط بما هو موجود في الهواء من بخار الماء فعلاً. فالضغط المشبع عندما تكون درجة الحرارة ١٠° م،لا يزيد على ١٢,٢٨ ميللibar،ويصل إلى ٨٧,٩٤ ميللibar عندما ترتفع درجة الحرارة إلى ٤٣,٣° م.

(ب) الرطوبة النوعية (Specific humidity)

تستعمل الرطوبة النوعية للتعبير عن كتلة بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي (غم/ كغم) فكلما ازدادت كمية بخار الماء، ازداد وزنه، إلى أن يصل إلى الحد يصبح الهواء عنده مشبعاً ولا يستطيع أن يستوعب أية كمية إضافية من بخار الماء. تكون الرطوبة النوعية للهواء ـ عندئذ ـ قد وصلت الى أقصى حد لها، وتعرف بالرطوبة النوعية الإشباعية.

تمثل الرطوبة الإشباعية - شأنها في ذلك شأن الضغط المشبع لبخار الماء - مقياساً لمقدرة الهواء على حمل بخار الماء وتزداد ـ كما هو مبين في الجدول (٢) في الملحق (٣) ـ كلما ارتفعت درجة الحرارة. أما الرطوبة النوعية الحقيقية فهي مقياس لكمية بخار الماء الموجودة في الهواء فعلا. وتعتمد الرطوبة النوعية الاشباعية للهواء على درجة الحرارة فقط، فإذا كانت درجة الحرارة ٥° م فان الرطوبة النوعية الاشباعية تبلغ ٦,٨ غم / كغم، بينما تصل إلى ٣٩,٦٣ غم / كغم عندما ترتفع درجة حرارة الهواء إلى ٣٥° م.

(جـ) الرطوبة المطلقة (Absolute humidity)

الرطوبة المطلقة هي كتلة بخار الماء الموجود في حجم معين من الهواء (غم/ م٣). والعيب الرئيس في استعمالها هو أن حجم الهواء كثير التغير لأنه غاز قابل للتمدد والإنضغاط،فأثناء صعوده مرتفعاً جبلياً يتمدد ويزداد حجمه فتقل الرطوبة المطلقة دون ان يكون قد خسر أية كمية من بخار الماء الموجود فيه. وإذا هبط الهواء إلى أسفل فإن رطوبته المطلقة تزداد، دون أن يكون قد اكتسب أية كمية إضافية من بخار الماء.

وتعتمد الرطوبة المطلقة الإشباعية ـ كما هو مبين في الجدول (٣) في الملحق (٣) ـ على درجة الحرارة اعتماداً كلياً، شأنها في ذلك شأن الرطوبة النوعية المشبعة وغيرها.

د) الرطوبة النسبية (RELATIVE HUMIDITY)

تختلف الرطوبة النسبية عن جميع المقاييس السابقة في أنها لا تقيس كمية بخار الماء الموجودة في الهواء فعلاً بل النسبة بينها وبين كمية بخار الماء اللازمة حتى يكون ذلك الهواء مشبعاً. فكمية بخار الماء الموجودة في هواء رطوبته النسبية ٥٠٪ هي نصف الكمية التي يحملها عندما يكون مشبعاً.

ويمكن استخدام أي من المعادلات التالية لحساب الرطوبة النسبية:

$$ط = \frac{ض}{ضَ} \times ١٠٠$$

$$= \frac{ن}{نَ} \times ١٠٠$$

$$= \frac{خ}{خَ} \times ١٠٠$$

$$= \frac{ض}{ضَ} \times ١٠٠$$

أما مدلولات الرموز فهي كما يلي:

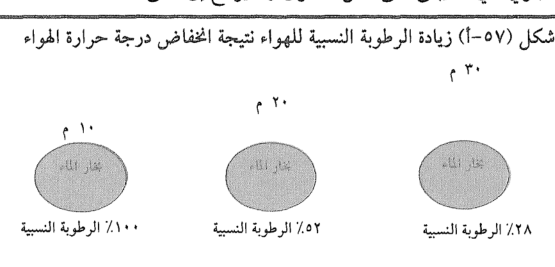
ط = الرطوبة النسبية، ض = ضغط بخار الماء الحقيقي، ضَ = الضغط المشبع لبخار الماء. ن = الرطوبة النوعية، نَ = الرطوبة النوعية الاشباعية، خَ = معامل الخلط الاشباعي، ض= ضغط بخار الماء عندما تكون درجة الحرارة تساوي نقطة الندى ضَ = ضغط بخار الماء الاشباعي الذي يتناسب مع درجة حرارة الهواء الفعلية.

(٣) نقطة الندى (DEW POINT)

توجد وسيلتان لإيصال الهواء إلى درجة التشبع: تتمثل الوسيلة الأولى في زيادة بخار الماء الذي يحمله الهواء حتى يصبح كافياً لإشباعه، أما الوسيلة الثانية فلا تتضمن أية إضافة من بخار الماء أبداً، بل تعتمد على خفض درجة حرارة الهواء إلى الحد الذي تصبح كمية بخار الماء الموجود ة فيه كافية لإشباعه،ولا سيما أنه كلما انخفضت درجة حرارة الهواء أصبحت كمية بخار الماء اللازمة لإشباعه أقل. فكما هو مبين في الشكل (٥٧)، فإن ٧،٧٦غم من الماء موجودة في كيلوغرام واحد من هواء درجة حرارته ٣٠° م ستجعل الرطوبة النسبية لذلك الهواء ٢٨٪. فإذا انخفضت درجة حرارة الهواء إلى ٢٠° م، فإن رطوبته النسبية سترتفع إلى ٥٢٪، وستبلغ الرطوبة النسبية لذلك الهواء ١٠٠٪، إذا انخفضت درجة حرارته إلى ١٠° م.

وتعرف درجة الحرارة التي يصبح فيها الهواء مشبعاً بالوسيلة الثانية بنقطة الندى. ويشترط في تبريد الهواء حتى وصوله نقطة الندى ألا يتغير ضغطه الجوي، أي أن يبقى على نفس المستوى ولا يرتفع إلى أعلى.

شكل (٥٧-أ) زيادة الرطوبة النسبية للهواء نتيجة انخفاض درجة حرارة الهواء



(٤) درجة حرارة الميزان الجاف والمبلل

يلزم لتحديد نقطة الندى، معرفة درجة حرارة ميزانين أحدهما جاف والآخر مبلل بالماء. يقيس الميزان الجاف درجة حرارة الهواء فعلاً، أما الميزان المبلل فانه يشبه الميزان الجاف ما عدا ان مستودع الزئبق فيه يكون ملفوفاً بقطعة من القماش مبتلة بالماء، وبالتالي فان الماء الذي يتبخر من تلك القطعة يستمد الطاقة اللازمة له من مستودع الزئبق، مما يجعل درجة الحرارة التي يسجلها ذلك الميزان أقل من درجة الحرارة التي يسجلها الميزان الجاف. وكلما كان الهواء جافاً كان معدل تبخر الماء من قطعة القماش أكبر، وكان الفرق بين درجة حرارة الميزانين أكبر. أما إذا كان الهواء رطبا، فان الفرق بين قراءة الميزانين يتناقص حتى إذا وصلت الرطوبة النسبية إلى ١٠٠ ٪ توقف التبخر من قطعة القماش تماما، وأصبحت قراء الميزان الجاف والمبلل متساوية.

(٥) العلاقة بين الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة:

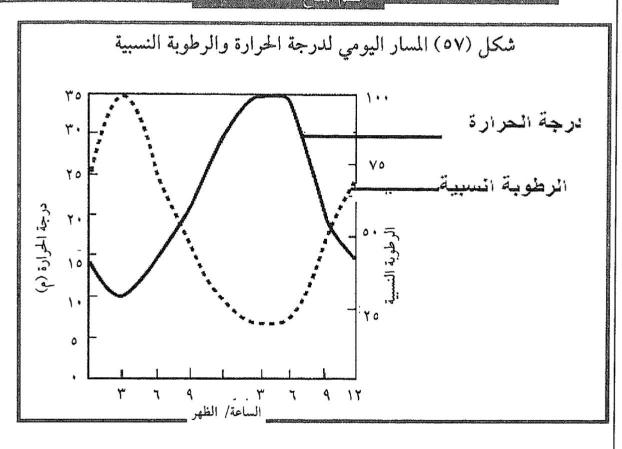
العلاقة بين درجة حرارة الهواء ورطوبته النسبية علاقة عكسية، فعندما ترتفع درجة الحرارة، تنخفض الرطوبة النسبية، لان مقدرة الهواء على استيعاب بخار الماء تزداد. أما عندما تنخفض درجة الحرارة، فان الرطوبة النسبية تزداد لان مقدرة الهواء على استيعاب بخار الماء تتناقص.

(٦) الدورة اليومية والفصلية للرطوبة:

أهم عاملين يؤثران في الرطوبة النسبية هما؛ درجة الحرارة، وكمية بخار الماء الموجودة في الغلاف، ولهذا فان الدورة اليومية للرطوبة النسبية في الأيام الهادئة التي لا تشهد وصول كتل أو جبهات هوائية، تكون معاكسة للدورة اليومية لدرجة الحرارة. إذ تبدأ الرطوبة النسبية مرتفعة في ساعات الصباح الأولى، ثم تأخذ بالانخفاض بعد شروق الشمس مباشرة، وتستمر في الانخفاض بعد الظهر، ثم تبدأ بالارتفاع بعد ذلك حتى تبلغ أعلى حد لها في ساعات الصباح الباكر قبل شروق الشمس (شكل ٥٧). ولهذا فان المدى اليومي للرطوبة النسبية في المناطق القارية والجافة اكبر منه في المناطق البحرية الرطبة

تختلف الدورة الفصلية للرطوبة النسبية في المناطق المدارية البحرية عنها في المناطق المعتدلة والباردة. فالرطوبة النسبية في المناطق المدارية البحرية أعلى في الصيف منها في الشتاء، أما في المناطق المعتدلة والباردة، فالرطوبة النسبية في فصل الشتاء أعلى منها في فصل الصيف.

شكل (٥٧) المسار اليومي لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية



(٧) التوزيع الجغرافي للرطوبة:

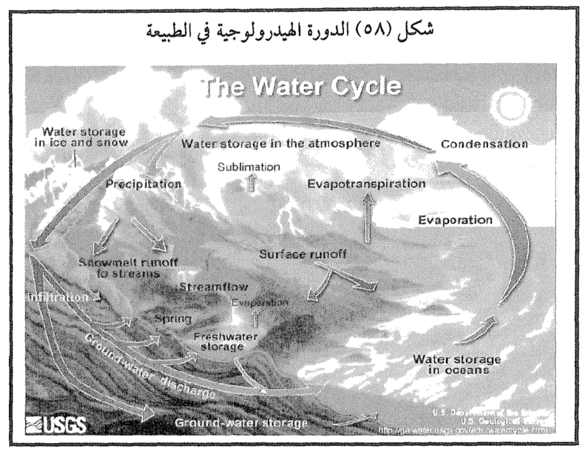
يعكس التوزيع الجغرافي للرطوبة النوعية التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة فأكبر تركيز لبخار الماء في الغلاف الجوي هو في المناطق الاستوائية، ومن هناك تأخذ الرطوبة النوعية للهواء في التناقص باتجاه القطبين. ولعل الارتباط الوثيق بين درجة الحرارة والرطوبة النوعية للهواء هو الذي يجعل مقدار بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي في الصيف أعلى منه في الشتاء، كما ان الرطوبة النوعية للهواء الحار الجاف تزيد على الرطوبة النوعية للهواء القطبي البارد.

تبلغ الرطوبة النسبية أقصى حد لها في المناطق الاستوائية، وتتناقص بسرعة كبيرة باتجاه المناطق المدارية الجافة، حيث يسود الجفاف وتنشط التيارات الهوائية الهابطة. وترتفع الرطوبة النسبية في المناطق المعتدلة حيث يساعد انخفاض درجة الحرارة في الشتاء، وارتفاع الهواء إلى أعلى بفعل الجبهات الجوية على ارتفاع الرطوبة النسبية. وتزيد الرطوبة النسبية فوق اليابسة في الشتاء عليها في الصيف، أما في المناطق التي تتعرض لغزو كتل هوائية رطبة في الصيف مثل المناطق الموسمية وفوق المسطحات المائية، فالرطوبة النسبية في الصيف أعلى منها في الشتاء.

نشاطات الفصل السادس

النشاط الأول: يمثل الشكل (٥٨) الدورة الهيدرولوجية في الطبيعة. المطلوب هو تقسيم طلبة الصف الى مجموعات تركيز وقيام كل مجموعة بتحليل الشكل المذكور ثم يقوم رئيس كل مجموعة بتقديم التحليل الذي توصلت إليه لجنته.

شكل (٥٨) الدورة الهيدرولوجية في الطبيعة

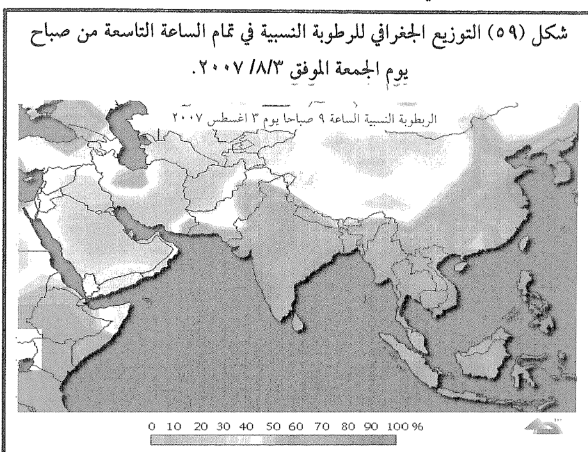


النشاط الثاني: يبين الشكل (٥٩) التالي التوزيع الجغرافي للرطوبة النسبية في تمام الساعة التاسعة من صباح يوم الجمعة الموفق ٢٠٠٧/٨/٣. وقد تم الحصول على ذلك الشكل من الموقع التالي على شبكة الانترنيت:

http://www.wunderground.com/global/Region/A2/2xHumidity.html

وهو موقع يصدر خريطة مشابهة عن توزيع الرطوبة النسبية يوميا. المطلوب أن يقوم كل طالب من طلبة الصف بالرجوع إلى ذلك الموقع على شبكة الانترنيت ويحصل على خريطة خريطة لأحد الأيام ثم يقوم بكتابة تقرير قصير عنها ويضمه إلى ملف الانجاز العلمي الخاص به.

شكل (٥٩) التوزيع الجغرافي للرطوبة النسبية في تمام الساعة التاسعة من صباح يوم الجمعة الموفق ٢٠٠٧/٨/٣.



النشاط الثالث: تجد على الموقع الألكتروني لدائرة الأرصاد الجوية الأردنية، بيانات عن النشرة الجوية لأربعة أيام، المطلوب الرجوع إلى ذلك الموقع واختيار فترات زمنية مختلفة وكتابة تقرير عنها.

الفصل السابع

التكاثف

يتم التمييز عادة بين نوعين رئيسين من التكاثف هما: التكاثف السطحي، والتكاثف العلوي. أما التكاثف السطحي، فيقصد به تكاثف بخار الماء على سطح الأرض نفسه أو في طبقة الهواء الملامسة له أو القريبة منه. ويعرف علماء الأرصاد هذا النوع من التكاثف بأنه "التكاثف الذي يتم في طبقة الهواء السطحية دون أن يتغير مستوى الضغط الجوي للهواء". وأهم مظاهر هذا النوع من التكاثف هي الضباب والندى والصقيع. أما التكاثف العلوي، فيقصد به تكاثف بخار الماء في طبقات الجو العليا على شكل غيوم.

وسنكتفي في هذا الفصل بمعالجة مظاهر التكاثف السطحي، بينما نعالج تكون السحب وسقوط الأمطار في الفصل القادم.

(١) نويات التكاثف

تدل نتائج التجارب المخبرية،أن بخار الماء لا يتكاثف بسهولة في الهواء النقي الخالي من الشوائب، وأن الرطوبة النسبية لذلك الهواء قد تصل إلى ٤٠٠ ٪، قبل أن يبدأ بخار الماء الموجود فيه بالتكاثف. إلا أن ذلك لا يحدث في الغلاف الجوي أبدا، بل إن التكاثف يمكن أن يبدأ قبل أن يصل الهواء درجة الإشباع. ولعل السبب الرئيس في ذلك، هو أن الغلاف الجوي مليء بالشوائب التي تقوم بدور نويات دقيقة يتكاثف بخار الماء حولها[1].

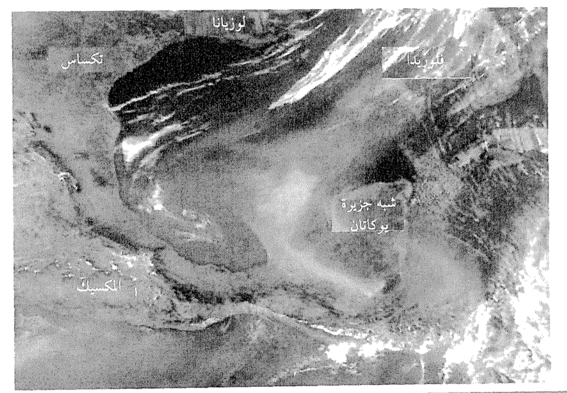
---

(١) حيثما وردت كلمة "شوائب" في هذا الفصل، فإن المقصود بها الشوائب التي تكون موجودة في الغلاف الجوي.

ويعد سطح الأرض المصدر الرئيس للشوائب (شكل ٦٠). إلا أن الغبار الكوني والرماد البركاني يعدان مصدرين آخرين. فقد لوحظ أن نسبة الشوائب ـ في السنوات التي يكون النشاط البركاني فيها قويا ـ ترتفع ارتفاعا كبيرا . كما أن الشهب والنيازك تزود الغلاف الجوي ـ كما سبق أن ذكرنا في الفصل الثاني ـ بكميات كبيرة من الشوائب.

وتختلف نسبة الشوائب من مكان لآخر، فهي اكثر في المناطق المأهولة بالسكان والمناطق الصناعية منها في المناطق الريفية، كما أنها تكثر في المناطق القارية وتقل في المناطق البحرية. فبينما يحتوي اللتر الواحد من هواء المناطق البحرية على أكثر من مليون نوية تكاثف (Condensation nuclie)، فان هواء المناطق القارية يحتوي على اكثر من خمسة أو ستة ملايين نوية.

شكل (٦٠) صورة أقمار صناعية للدخان (البقع البضاء الناصعة البياض) الناتج عن حرائق الغابات في المكسيك ودول أمريكا الوسطى



(٢) نويات التكاثف المتميعة

كان يعتقد أن ذرات الغبار والرمال تشكل الغالبية العظمى من نويات التكاثف، وأنها المسؤولة الأولى عن تكاثف بخار الماء في الغلاف الجوي. إلا أنه قد ثبت حديثا أن ذرات الغبار والرمال ليست فعالة في الإسراع بعملية التكاثف مثل نويات من نوع آخر تعرف بالنويات المتميعة (Hygroscopic nuclei). يتكون هذا النوع من النويات من مجموعة من الأملاح والحوامض التي تذوب في الجو الرطب وتكون محلولا ذائبا يتكاثف عليه بخار الماء بسرعة كبيرة، حتى قبل أن يصل الهواء إلى درجة التشبع. وتشكل الأملاح ـ ولا سيما ملح الطعام الذي يدخل الغلاف الجوي عند انفجار فقاعات المياه في أمواج البحار والمحيطات ـ المصدر الرئيس لتلك النويات خاصة في المناطق البحرية. أما في المناطق الصناعية والمناطق الحضرية المأهولة بالسكان، فيدخل في تكوين النويات المتميعة ـ زيادة على الأملاح ـ بعض الغازات والأحماض الأخرى التي تذوب بسهولة في الجو الرطب مكونة نويات متميعة مثل السلفات (Sulfate) والامونيا (Ammonia) وحامض الكبريتيك وغيرها.

وتكمن أهمية نويات التكاثف المتميعة في أن التكاثف يبدأ عليها قبل أن يصل الهواء إلى درجة التشبع، كما أنها تساعد على بقاء قطرات الماء المتكاثفة حولها ـ ولا سيما الموجودة منها في طبقات الجو العليا ـ سائلة، رغم انخفاض درجة الحرارة دون درجة التجمد. ولعل السبب في مقدرة نويات التكاثف المتميعة على بدء عملية التكاثف قبل أن يصل الهواء الى مرحلة التشبع، هو أن الضغط الإشباعي لبخار الماء حولها أقل منه حول قطرات الماء العادية. ولهذا فان قطيرات الماء الصغيرة الموجودة في السحب تتبخر عن نويات التكاثف العادية وتتكاثف عليها. ولقد ثبت فعلا، ان التكاثف يمكن أن يبدأ حول نويات من كلوريد الصوديوم عندما تصل الرطوبة النسبية إلى ٧١٪. أما السبب في بقاء قطرات الماء المتكاثفة حول تلك النويات سائلة رغم انخفاض درجة الحرارة إلى اقل من التجمد، فيرجع إلى أن درجة تجمد السائل المائع الذي ينتج عن ذوبان تلك الأملاح والحوامض في الهواء الرطب اقل من درجة التجمد العادية للماء. ولهذا

فقد تمت ملاحظة بعض قطرات الماء في حالة السيولة رغم وجودها في هواء تقل درجة حرارته عن -٢٥ م.

تختلف نويات التكاثف من حيث حجمها. فبعضها صغير لا يزيد نصف قطره على ٠,٠٠١ مايكرون. وهذا النوع من النويات قليل الفاعلية وليس له اثر يذكر. إلا أن الغالبية الساحقة من نويات التكاثف يزيد نصف قطر الواحدة منها على ميكرون، بل يصل نصف قطر بعضها إلى عشرة ميكرونات، ويعرف هذا النوع بالنويات العملاقة وهي أكثر نويات التكاثف فاعلية.

نستخلص ـ مما سبق ـ أن سهولة تكاثف بخار الماء في الغلاف الجوي تتوقف على عدد من العوامل أهمها: رطوبة الهواء، وطبيعة نويات التكاثف، ونسبة تلك النويات في الجو وحجمها.

أولا: التكاثف السطحي

يتضمن التكاثف السطحي كلا من الضباب، والندى، والصقيع.

(١) الضباب (Fog)

يتكون الضباب عندما يتكاثف بخار الماء في الطبقة السطحية من الغلاف الجوي على شكل قطيرات صغيرة لا يزيد قطر الواحدة منها على ١٠٠ ميكرون. ونظرا لصغر تلك القطيرات، فإنها تبقي عالقة في الجو، مما يحد من مدى الرؤية، ويشكل عقبة في وجه وسائل المواصلات. وعلى الرغم من استخدام الرادار من قبل السفن والطائرات للتخفيف من حدة المشكلة، ولمساعدة الطائرات في الهبوط الآلي (Blind Landing)، والسفن في الرسو، فقد وقع كثير من حوادث الطيران واصطدام السفن في عرض البحر نتيجة للضباب الكثيف، كما ان نسبة حوادث المرور في الأيام التي يحدث فيها الضباب تزيد على نسبتها في الأيام العادية. ولا شك ان كثرة الضباب في بعض المدن يشكل عبئا اقتصاديا على كاهلها لما يتطلبه من إنارة مستمرة واحتياطات استثنائية لا مبرر لها في الأيام العادية.

ويرتبط مدى الرؤية عند تكون الضباب بنسبة بخار الماء في الجو، فكلما كانت الرطوبة النسبية اكبر، كان مدى الرؤية أقل. ويميز عادة بين الضباب والشابورة، إذ يشترط عند حدوث الضباب أن يقل مدى الرؤية عن ١٠٠٠ متر، أما في حالة الشابورة أو الضباب الخفيف (Mist)، فإن مدى الرؤية يزيد على ١٠٠٠ متر.

(١-١) أنواع الضباب

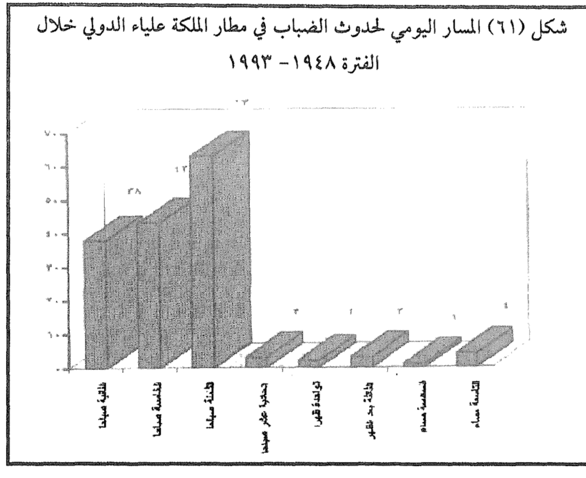
يمكن التمييز بين عدة أنواع من الضباب تبعا لاختلاف العوامل التي تؤدي إلى حدوث كل منها، وإن كان من الصعب أن نعزو أي نوع من الضباب إلى عامل واحد، بل إلى مجموعة من العوامل. واهم أنواع الضباب هي:

(أ) الضباب الاشعاعي (Radiation Fog):

يعرف هذا الضباب ـ أحيانا ـ بضباب البر، وذلك تمييزا له عن الضباب الذي يتكون في المناطق البحرية، ويعرف بالضباب المتنقل. وهو يتكون في الليالي الطويلة ذات السماء الصافية والرياح الهادئة، ويتلاشى بعد أن تشرق الشمس بساعة أو بساعتين.

يعزى تكون هذا النوع من الضباب إلى فقدان سطح الأرض في تلك الليالي كميات كبيرة من الإشعاع الأرضي. أما الليالي التي تكون السماء فيها غائمة، فإن الغيوم تمنع الإشعاع من الهروب وتحول دون برودة سطح الأرض. وبما أن مقدار فقدان سطح الأرض للأشعة يصل أقصاه في نهاية الليل، أي قبيل شروق الشمس مباشرة، فإن هذا النوع من الضباب يتكون غالبا قبيل شروق الشمس مباشرة. وكما هو مبين في الشكل (٦١)، فإن أكثر من ٩٦٪ من حالات الضباب التي حدثت في مطار الملكة علياء في عمان (الأردن) قد حصلت بين الساعة الثانية والثامنة صباحا (زريقات، ١٩٩٥).

شكل (٦١) المسار اليومي لحدوث الضباب في مطار الملكة علياء الدولي خلال الفترة ١٩٤٨- ١٩٩٣



ويعد استقرار طبقة الهواء السطحية شرطا ضروريا لتكون الضباب الإشعاعي ولا سيما أن استقرار الهواء يساعد على هدوء الرياح، ويضاعف من معدلات تبريد سطح الأرض[1]. إلا أن الهدوء التام للرياح لا يكفي إلا لتكون ضباب رقيق متقطع يظهر على شكل كتل صغيرة منفصلة. لكن هبوب رياح خفيفة يساعد على مزج طبقة الهواء السطحية الرقيقة الملامسة لسطح الأرض مباشرة مع طبقة الهواء الواقعة فوقها مباشرة مما يزيد من كمية

---

(١) يرتبط استقرار أي كتلة هوائية أو عدم استقرارها بعدد من العوامل أهمها معدل تناقص درجة الحرارة بالارتفاع في الكتلة، مقارنة مع معدل تناقص درجة حرارة الوسط الذي توجد فيه. وعلى كل حال فهو مفهوم معقد، ولا مجال لمعالجته هنا، ويكفي أن نذكر بأن الهواء المستقر (Stable) يكون ملتصقا بسطح الأرض، ولا يميل إطلاقا إلى الارتفاع إلى أعلى. ويكون غير مستقر، إذا كان قابلا للارتفاع إلى أعلى بسهولة، بحيث أن عاملا بسيطا يمكن أن يدفعه إلى الارتفاع.

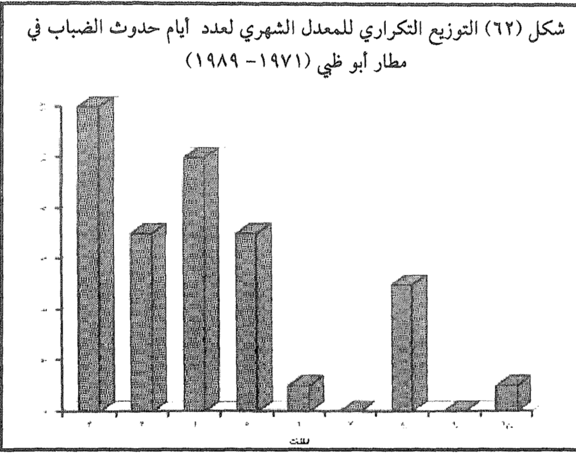
بخار الماء المتكاثف،ويعمل على نمو الضباب وزيادة سمكه. ويذكر ريل (Reihl) أن سمك الضباب الاشعاعي يصل إلى ٣٠ مترا عندما تتراوح سرعة الرياح بين ٢-٣ ميل / الساعة (Reihl, 1965).

يعد الضباب الإشعاعي النوع الرئيس من الضباب الذي تتعرض له المناطق الساحلية من دولة الإمارات العربية المتحدة خلال فصل الشتاء وأوائل الربيع (شكل ٦٢). ويصل المعدل السنوي لعدد أيام تكون هذا النوع من الضباب في مدينة أبو ظبي ١٩,٣ يوما، ويزيد في بعض السنوات على ٣٠ يوما، كما حدث عام ١٩٧٨ عندما تكون في ٣٦ يوما على الأقل.

وهو يتكون في العادة فوق اليابسة بسبب انخفاض درجة الحرارة خلال الليل، ثم يحمله نسيم البر باتجاه المدينة. وفي بعض الأيام التي يكون فيها ذلك الضباب كثيفا، فإنه يبقى فوق مياه الخليج إلى ما بعد شروق الشمس، حيث يحمله نسيم البحر ثانية باتجاه المدينة. وتتحقق أفضل الظروف الجوية الملائمة لتكون الضباب عندما يضعف معدل تناقص الضغط الجوي بين مركز الضغط المرتفع المتمركز فوق شمال العراق وشمال شرق سوريا، ومركز الضغط المنخفض فوق الربع الخالي. إذ إن ذلك يعمل على استقرار الجو وهدوء الرياح، مما يساعد على تراكم بخار الماء في طبقة الهواء السطحية، وارتفاع الرطوبة النسبية، كما انه يعمل على صفاء السماء، مما يساعد على فقدان سطح الأرض، خلال الليل، كميات كبيرة من الإشعاع الأرضي، وعلى انخفاض درجة الحرارة.

يكثر تكون الضباب الاشعاعي في العروض الوسطى والعليا في الشتاء والخريف. وهو يعد النوع السائد من الضباب في الأردن وفلسطين وسوريا وغيرها من مناطق البحر المتوسط. ويتراوح عدد الأيام التي يتكون فيها الضباب الإشعاعي في الأجزاء الداخلية من سوريا ما بين ٤٠ - ٦٠ يوما في العام، ويصل في فلسطين إلى ٤٠ يوما.

شكل (٦٢) التوزيع التكراري للمعدل الشهري لعدد أيام حدوث الضباب في مطار أبو ظبي (١٩٧١- ١٩٨٩)



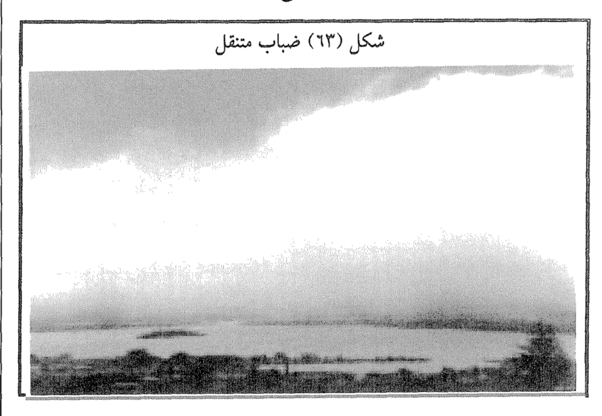
ويقترن ظهور الضباب في فلسطين بعدد من الظواهر الجوية أهمها تمركز ضغط جوي مرتفع مما يساعد على استقرار الهواء، وتكون انعكاس حراري سطحي. وتتراوح مدة بقائه بين ساعتين وثلاث ساعات، إلا في بعض الحالات التي يتكون فيها ضباب من نوع آخر غير الضباب الإشعاعي.

وعندما يتكون الضباب الإشعاعي فوق منطقة متموجة، فانه يكون اكثر كثافة في الأحواض الطبوغرافية وقيعان الأودية التي تشكل مراكز تجمع للهواء البارد في الليل. أما في المدن الكبيرة، فإن الضباب الإشعاعي يكون أكثف في الضواحي والمناطق الريفية المحيطة بالمدينة، منه في قلب المدينة، إذ إن تهيج الهواء وعدم استقراره وارتفاع درجة حرارته في وسط المدينة يجعله أقل تشبعا ببخار الماء ويحد من تكون الضباب.

(ب) الضباب المتنقل (Advected fog)

يعرف هذا النوع من الضباب بضباب البحر، لأنه يكثر فوق المسطحات المائية إلا انه يتكون في المناطق الساحلية وفي اليابسة أيضا، ولا سيما في فصل الشتاء عندما تمر كتلة من الهواء الدافئ الرطب فوق سطح بارد (شكل ٦٣).

شكل (٦٣) ضباب متنقل



أما في المناطق الساحلية فان نسيم البحر يلعب دورا في تنشيط هذا النوع من الضباب، ودفعه نحو الداخل، ولا سيما إذا كانت الظروف الجوية مهيئة لتكونه. ويعرف الضباب الذي يتكون بهذه الطريقة باسم الضباب الإشعاعي المتنقل (Advected radiation).

يتكون هذا النوع من الضباب في المسطحات المائية الواقعة في المناطق المعتدلة والباردة في فصل الصيف، ولا سيما عندما تلتقي تيارات بحرية دافئة بأخرى باردة. فالضباب الكثيف الذي يتكون قرب سواحل نيوفاوندلاند في امريكا الشمالية هو نتيجة التقاء تيار الخليج الدافئ بتيار لبرادور البارد. ويبلغ المعدل السنوي لعدد أيام تكون الضباب في مدينة (Cape Race) في نيوفاوندلاند ١٥٨ يوما. ويكثر حدوث هذا النوع من

الضباب على طول السواحل الغربية للقارات، ولا سيما في المناطق المدارية حيث تمر على تلك السواحل تيارات بحرية باردة مثل تيار الكناري على سواحل مراكش وتيار كليفورنيا على السواحل الغربية لامريكا الشمالية، وتيار البيرو على سواحل امريكا الجنوبية، وتيار بنجويلا على سواحل جنوب غرب افريقيا.

(جـ) ضباب التبخر (Evaporation Fog)

السبب الرئيس في تكون النوعين السابقين من الضباب هو انخفاض درجة حرارة الهواء وتناقص رطوبته الاشباعية. أما ضباب التبخر، فان السبب في تكونه هو تبخر المياه من المسطحات المائية الدافئة الواقعة في العروض المعتدلة، عندما تمر عليها كتل هواء بارد مما يجعل الهواء يتشبع ببخار الماء. ويتكون هذا النوع من الضباب فوق المسطحات المائية الداخلية بعد شروق الشمس، ولهذا فانه كثير الحدوث في منطقة البحيرات العظمى

(د) ضباب السفوح (Upslope Fog)

يتكون هذا النوع من الضباب عندما يضطر هواء مستقر الى صعود مرتفع جبلي. وهو يكثر ـ بشكل خاص ـ على السفوح الجبلية المواجهة لهبوب الرياح، ويتكاثر ويزداد حجمه بالارتفاع.

(هـ) ضباب الأودية (Topographic Fog)

يتكون هذا الضباب نتيجة تراكم الهواء البارد في قيعان الأودية والأحواض الطبوغرافية أثناء الليل، ويزداد كثافة إذا كانت الظروف الجوية مواتية لتكون ضباب إشعاعي.

(و) ضباب الجبهات (Frontal Fog)

يكثر هذا الضباب في المناطق المعتدلة والباردة خلال فصل الشتاء، ولا سيما عندما تصل إلى تلك المناطق جبهات هوائية دافئة ممطرة. إذ إن الأمطار التي تسقط من الهواء الدافئ في الأعلى إلى الهواء البارد الذي يقع أسفله، ترفع الرطوبة النسبية لذلك الهواء وتؤدي إلى تكون الضباب.

(ز) ضباب المرتفعات الجوية (Anticylonic Fog):

يقترن تمركز بعض المرتفعات الجوية في فصل الشتاء بظهور ضباب كثيف يستمر ـ في بعض الأحيان ـ يوما كاملا أو اكثر. والسبب في ظهوره هو ركود الهواء في المرتفع الجوي وانخفاض درجة الحرارة. يمتاز هذا النوع من الضباب بسعة انتشاره، وإمكانية ظهوره في أي ساعة من اليوم، وبعدم انقشاعه بعد شروق الشمس مباشرة.

(حـ) الضباب الدخاني (Smog):

يساعد انتشار الشوائب في أجواء العديد من المدن الصناعية الكبرى على كثرة حدوث الضباب الدخاني، وهو ضباب كثيف ممزوج بالدخان. وهو لا يتأثر بشروق الشمس ولا بسقوط الأمطار، ويستمر أياما عديدة، وهو من أسوأ أنواع الضباب.

(ط) الضباب الكيميائي (Photochemical Fog):

يظهر هذا الضباب في أجواء بعض المدن شديدة الازدحام بالسيارات مثل مدينة لوس انجلوس الأمريكية، وغيرها من المدن الكبرى التي تمتاز بصفاء السماء. والسبب في تكون هذا النوع من الضباب، هو ان الغازات التي تخرج من عوادم السيارات مثل اكاسيد الكربون والكبريت والمواد الهيدروكربونية وغيرها، تتفاعل مع بعضها ومع بخار الماء مما يؤدي إلى تكون هذا الضباب.

(١-٢) اثر الضباب على المزروعات:

على الرغم من كثرة النتائج السيئة للضباب على حركة المواصلات والسياحة وعلى صحة الإنسان ونشاطه، فانه لا يخلو من بعض الفائدة للمزروعات. فبعض المناطق الجافة والصحاري الساحلية تستفيد من الضباب في ري بعض المزروعات وتعوض كثرة الضباب عن قلة الأمطار. فقد قدر نيجل ان ما يصيب جبل تيبل (Table) الواقع في جنوب أفريقيا من الضباب سنويا يصل إلى ٣٢٤٩ ميلليمترا، وهو يفوق المعدل السنوي للأمطار على ذلك الجبل. وفي جزيرة لانيه (Lanai) – وهي إحدى جزر هاواي – يصل التساقط السنوي من الضباب على تلك الجزيرة إلى ١٢٧٠ ميللمترا في السنة.

ويساعد حدوث الضباب على منع تكون الصقيع ويضعف من شدته أحيانا ولا سيما أن تأثير الضباب على الإشعاع الأرضي يشبه تأثير السحب.

(٢) الندى (Dew)

يتكون الندى عندما يتكاثف بخار الماء الموجود في الطبقة السطحية السفلى من الغلاف الجوي على شكل قطرات ماء صغيرة تترسب على أوراق النباتات والأشجار وعلى أسطح المنازل، وغيرها من معالم سطح الأرض. ويتكون الندى في ساعات الصباح الباكر، لكنه سرعان ما يتبخر بعد أن تشرق الشمس، وأفضل الليالي ملاءمة لتكونه هي الليالي الطويلة ذات السماء الصافية والرياح الهادئة. ويساعد طول الليل وصفاء السماء على برودة سطح الأرض، واستقرار الهواء، وتكون انعكاس حراري سطحي. وعندما يصل الهواء إلى نقطة الندى، فإن بخار الماء الموجود فيه يبدأ بالتكاثف، ولا سيما على الأجسام التي تكون حرارتها قد انخفضت اكثر من غيرها مثل الأسطح المعدنية والزجاجية.

وإذا كان هدوء الرياح يعد شرطا أساسيا لتكون الندى، فانه لا يفضل ان تكون الرياح هادئة تماما، لأن ذلك يحد من تكون الندى، ويجعله لا يزيد على ١,٠٪ من الحد الأقصى، الذي كان يمكن ان يصل إليه. وقد تبين أن افضل سرعة رياح ملائمة لتكون الندى في جنوبي انجلترا هي التي تتراوح بين متر واحد وثلاثة أمتار في الثانية، شرط ان تستمر تلك الرياح طوال الليل. ووجد بعض الباحثين في الولايات المتحدة ان الندى يكاد أن يكون معدوما في ولاية ايداهو الامريكية على السفوح الجبلية المعرضة للرياح او الواقعة تحت غطاء نباتي كثيف.

(٢-١) أهمية الندى

يلعب الندى دورا مهما في نجاح الزراعة البعلية في المناطق شبه الجافة فترسبه في ساعات الصباح الباكر على أوراق المزروعات يعيق بدء عملية النتح ويلطف درجة حرارة تلك الأوراق، ويخفض معدل النتح منها[١].

ويعد الندى مصدرا مباشرا للمياه التي تحتاجها النباتات، غير ان أهمية الندى في هذا المجال أمر غير متفق عليه، فإذا كان بعض الباحثين يقدر المعدل السنوي للندى في بعض جهات الساحل الفلسطيني بأكثر من ٢٠٠ مم، فإن آخرين قد وجدوا ان القياسات المباشرة للندى على طول ذلك الساحل تشير إلى ان المعدل السنوي لا يزيد على ٥٥ مم. ويصل المعدل السنوي للندى قرب الإسكندرية على الساحل المصري إلى ١٢٣ مم. ويعلق المزارعون في اليمن أهمية كبرى على دور الندى في نجاح زراعة البن. وقد وجد دفدفاني ان بعض المحاصيل الصيفية في فلسطين قد نمت إلى الضعف في بعض السنوات التي كان الندى فيها وفيرا. أما في الأردن، فان المعدل السنوي للندى يصل في منطقة اربد إلى ٢٠ مم، ويزيد عدد الأيام التي يتكون فيها الندى على ١٤٤ يوما في السنة.

ولاشك ان الندى يلعب دورا مهما في الحياة النباتية في المناطق المدارية الجافة وشبه الجافة، حيث يساعد صفاء السماء وتدني درجة الحرارة أثناء الليل على تكون الندى. وقد لجأ المزارعون منذ زمن طويل إلى ابتكار بعض الوسائل البسيطة التي تساعد على تجميع الندى ومنع تبخره، فكانوا يحيطون مزروعاتهم بأكوام من الحجارة الصغيرة التي كانت تجمع الندى في الليل وتحميه من التبخر في الصباح. ويعتقد ان النباتات الصحراوية تحصل على كمية أكبر من الندى لكونها مبعثرة على مساحات متباعدة مما يجعل درجة حرارتها أقل من الوسط الموجودة فيه، كما أن التهيج الميكانيكي للهواء يزداد عند كل نبته، مما يزيد من معدلات الترسيب عليها. وقد وجد انجوس (Angus) ان ما تحصل عليه بعض الشجيرات الصحراوية من الندى يفوق بمقدار ٤٠ ٪ ما تحصل عليه المناطق المحيطة بها.

---

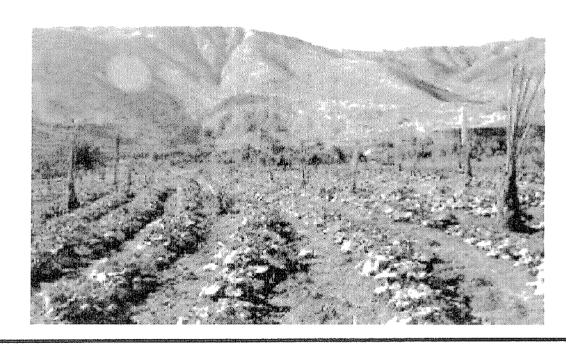
(١) الزراعة البعلية هي الزراعة التي تعتمد على الأمطار فقط، ولا يستخدم فيها الري.

(٣) الصقيع (Frost)

يعد الصقيع من الظواهر الجوية الحادة التى تلحق بالمزروعات في المناطق المعتدلة والباردة خسائر كبيرة. ولا يقتصر أثره على المزروعات فحسب، بل يمتد إلى المواصلات واستهلاك الكهرباء والتدفئة، ويسبب الكثير من الحوادث.

يقترن ظهور الصقيع في ذهن الناس بتكون بلورات شفافة من الجليد على سطح الأرض، ويعرف هذا النوع من الصقيع بالصقيع الأبيض (White Frost) (شكل ٦٤). إلا ان حدوث الصقيع لا يشترط بالضرورة تكون الجليد، بل يحدث كلما انخفضت درجة الحرارة عن الصفر المئوي، سواء رافق ذلك تكون البلورات الجليدية أم لا ويعرف الصقيع الذي لا يرافقه تكون البلورات الجليدية بالصقيع الجاف (Black Frost).

شكل (٦٤) صقيع أبيض يضرب المحاصيل الزراعية في وادي الأردن



ينبغي عند الحديث عن الصقيع ان نحدد المستوى الذي يحدث عنده، فالمزارع لا يهمه تكون الصقيع على مستوى كشك الأرصاد الجوية، بل درجة الحرارة الصغرى على مستوى المزروعات. ولهذا، فانه يمكن التمييز بين الصقيع الأرضي (Ground Frost) الذي يحدث عندما تنخفض درجة الحرارة على مستوى ٥سم من سطح الأرض إلى درجة التجمد، والصقيع الجوي (Air Frost) الذي يحدث عندما تنخفض درجة الحرارة إلى درجة التجمد على مستوى كشك الأرصاد الجوية. لا سيما وان العديد من حالات الصقيع الأرضي الخفيف قد تمر دون ان يتمكن ميزان الحرارة الصغرى الموجود في كشك الأرصاد من تسجيلها.

ويمكن ان نميز بين نوعين رئيسين من الصقيع تبعا لخصائص كل منهما، وهما الصقيع الإشعاعي والصقيع المتنقل.

(٣-١) الصقيع الإشعاعي (Radiation Frost)

يكثر حدوث الصقيع الإشعاعي في المناطق المعتدلة خلال فصل الشتاء، كما انه يحدث أحيانا في فصلي الربيع والخريف. أما في المناطق الباردة، فانه يحدث في فصل الصيف أيضا. وأكثر الظروف الجوية ملاءمة لتكون الصقيع الإشعاعي هو صفاء السماء وهدوء الرياح، وتكون انعكاس حراري قوي. ولهذا فإن أبرز الأحوال الجوية التي تساعد على حدوث الصقيع في بلاد الشام هي تعرض المنطقة لبعض المرتفعات الجوية المستقرة، لا سيما وان الرياح في تلك المرتفعات تكون هادئة والسماء صافية، مما يشجع على حدوث الصقيع الإشعاعي.

وتلعب الخصائص المحلية لأية منطقة دورا بارزا في جعل بعض المناطق أكثر عرضة لحدوث الصقيع دون غيرها. واهم تلك الخصائص هي:

- طبوغرافية السطح: الصقيع الإشعاعي ظاهرة محلية، بمعنى أنه يحدث ـ أحيانا ـ في بقعة صغيرة، ولا يحدث في بقعة أخرى مجاورة لها. وأكثر الأماكن ملاءمة لحدوثه هو قيعان الأودية والأحواض الطبوغرافية. أما على السفوح المنحدرة، فان الحركة اليومية للرياح تحد من حدوث الصقيع الإشعاعي، ولا سيما إذا كانت درجة الانحدار تزيد على درجتين. ولهذا السبب فإن مزارعي المناطق

المعتدلة والباردة لا يزرعون المحاصيل الحساسة للصقيع في قيعان الأودية والأحواض الطبوغرافية، وإنما في السفوح المنحدرة[1].

- رطوبة التربة: يقل حدوث الصقيع الإشعاعي في التربة الرطبة عنه في التربة الجافة، إذ إن ارتفاع نسبة الماء في التربة يزيد من درجة توصيلها الحراري ومن سعتها الحرارية (Heat Capacity). ولهذا السبب فإن إحدى الوسائل التي يلجأ لها المزارعون للحد من خطر الصقيع ـ عندما يهدد مزارعهم ـ هي ري تلك المزارع.
- نوع التربة: يقل حدوث الصقيع في التربة الطينية الثقيلة عنه في التربة الرملية، ولا سيما وان التربة الطينية تفقد الحرارة في الليل بسرعة اكبر من التربة الرملية.

(٣-٢) الصقيع المتنقل (Advection Frost):

يحدث الصقيع المتنقل أو الصقيع الريحي (Wind Frost)، عندما يتعرض سطح الأرض لوصول كتلة هوائية باردة تخفض درجة الحرارة إلى التجمد. ولهذا فانه قد يحدث في أي ساعة من اليوم، وليس كالصقيع الإشعاعي الذي يحدث في ساعات الصباح الأولى فقط. ولا يغلب على الصقيع المتنقل الطابع المحلي، بل إنه ظاهرة واسعة الانتشار وقد يحدث على سفوح الجبال وقيعان الأودية على حد سواء.

---

(١) المحاصيل الحساسة للصقيع هي المحاصيل التي تتأثر أكثر من غيرها بانخفاض درجة الحرارة بحيث يمكن أن يلحق بها ضرر كبير ، حتى لو لم تنخفض درجة الحرارة إلى الصفر ، بل إلى درجة أو درجتين فوقه.

حالة دراسية موجة الصقيع التي تعرضت لها منطقة الأغوار الشمالية في الأردن عام ١٩٨٩

تتعرض منطقة المرتفعات الجبلية في الأردن خلال فصل الشتاء إلى عدد من موجات البرد والصقيع. ومما يزيد من خطورة المشكلة هو أن بعض تلك الموجات تمتد إلى منطقة الأغوار الشمالية ذات الأهمية الاقتصادية الكبرى كونها المنطقة الرئيسة التي تنتشر فيها الزراعة المروية ولأنها - نظرا لدفئها ولامتداد فصل النمو فيها على مدار العام - المنطقة الوحيدة التي تزرع أكثر من مرة واحدة في السنة.

وتعد موجة الصقيع التي تعرضت لها المنطقة خلال الفترة الممتدة من ٣- ٦ يناير عام ١٩٨٩ من أشد موجات الصقيع التي تعرضت لها المنطقة خلال العشرين سنة الماضية، فقد استمرت أربعة أيام متتالية انخفضت درجة حرارة خلالها إلى أقل من - ٦ م في الشونة الشمالية، والى -٣،٨ م في وادي اليابس. وقد بدأت تلك الموجة يوم ٣ يناير عندما أدى امتداد المرتفع الجوي السيبيري نحو الحوض الشرقي للبحر المتوسط إلى تعرض الأردن لكتلة هوائية قطبية قارية جافة شديدة البرودة مصحوبة بحالة من الاستقرار الجوي القوي. ساعدت تلك الظروف وما رافقها من صفاء السماء وهدوء الرياح على تكون صقيع إشعاعي شديد بحيث تدنت درجة الحرارة الصغرى لميزان حرارة العشب إلى (-٦،٥ م)، بينما انخفضت الرطوبة النسبية إلى ٢٢٪ فقط. استمر تدفق الهواء القطبي الشديد البرودة نحو المنطقة في الأيام التالية،وواصلت درجة الحرارة انخفاضها، بحيث بلغت درجة الحرارة الصغرى لميزان العشب في وادي اليابس حوالي (-٢ م)، ولم تتجاوز درجة الحرارة العظمى في اليوم التالي (٦،٨م).

وقد ألحقت تلك الموجة - كما هو مبين في الجدول (١١) - خسائر فادحة بالمزارعين في منطقة الأغوار الشمالية، حيث وصلت نسبة الضرر الذي لحق بالمزروعات في بعض الأحوال إلى ١٠٠%.

جدول (١١) أضرار موجة الصقيع خلال الفترة من ٣ - ٦/ ١/ ١٩٨٩ في منطقة الأغوار الشمالية

الحوض	المساحة الكلية/ دونم	الموز	الحمضيات	الخضار	نسبة ضرر الحوض
١	٣٥١٥	٤٥٤	٢٦٧٢	٢١	%١٠٠
٢	١٠٥٤	٥٢	٧٧٥	-	%١٠٠
٣	٣٠٦٦	٣٣	١٠٨٠	٧٨٧	%١٠٠
٤	٦٣٢١	١٥	١٧٠٨	٦٨٥	٪١٠٠
٥	٢٧٣٩	٩٠	٢١٢٥	١٥٠٠	٪٩٥
٦	٥٧٨٩	٢٦٧	٩٣٧	٣٣٨	٪٨٠
٧	٣٣٠٨	٢٨٩	٣٥٤٠	١٩٢	٪٧٥
٨	١٧٥٢	٢٩	٣٩١	١٨٢	٪٦٠ ٪٧٠
٩	١٧٣٠	٣٣٢	٩١٣	٢٣٦	٪٦٥
١٠	٩٧٢٥	٣٠	١١٠٧	٦٧٣	٪٦٣
١١	٧٨١٣	٧٠	٢٣٠٨	٢٥٠٨	٪٦٠
١٢	٧٩٨٣	٢٠	٣٦٨٩	١٦٩٢	٪٥٨
١٣	٣٩٤٠	-	١٣٩٩	٥١٩	٪٥٠
١٤	٦٤٤٨	١٧٠	١٨٣٩	١٢٧٠	٪٤٧
١٥	٤٩٧٠	١١٨	١٥٢٠	١٦٠٤	٪٤٥
١٦	٦٧٧٧	١٣٥	٨٥٢	٢٠٨٤	٪٤٣
١٧	٣٣٨٧	-	١١١	١١٦٦	٪٤٠
١٨	٣٩٧٥	٧٨٠	٤٥٠	٥٣٦	٪٣٩
١٩	٦٥٢٥	١٣٥	٥٣٦	٥٣٦	٪٣٥
٣٣	٥١٠٨	٢٠٤	٢٦٠٠	١٦٠٠	٪٨٦
٣٤	٣١٢٩	٥٠	١٤٠٢	١٠٢٨	٪٧٩
٣٥	١٢٧٣	-	٨٥٤	٢٥٨	٪٧٧
٣٦	٤٦٤٣	٢٩٧	١٢٠٠	٢٠٥٠	٪٧٥
٣٧	١٥٢٧	١١٠	١٢٠	٨٧٠	٪٦٥
٣٨	٧١٥	١٠٠	٨٧	١٨٧	٪٥٢
٣٩	٥٦٧	٤	٢١	٢٣٥	٪٤٦

ثانيا: التكاثف العلوي (السحب)

تتكون معظم السحب من قطيرات ماء بالغة الصغر، يتراوح متوسط قطرها بين ١٠-١٥ مايكرون. ويرجع السبب في ضآلة حجم تلك القطيرات إلى فقر معظم السحب للماء، وعدم كفاية بخار الماء الموجود فيها لنمو تلك القطيرات إلى الحد الذي يصل فيه قطر الواحدة منها إلى ٥٠٠ مايكرون، وهو الحد الأدنى اللازم لتكون الأمطار. ولهذا فإن السحب ليست كلها سحبا ممطرة، بل إن كثيرا من السحب تظهر وتختفي، دون أن يصل سطح الأرض منها قطرة مطر واحدة. وأهم العوامل التي تجعل بعض السحب ممطرة وبعضها الآخر غير ممطر هي طبيعة تكوين السحابة، وغناها ببخار الماء وارتفاعها وغناها بنويات التكاثف.

وتشكل الصور الفضائية التي تلتقطها الأقمار الصناعية لتوزيع السحب فوق مناطق شاسعة من سطح الأرض مصدرا أساسيا يساعد في تحديد مواقع الجبهات والاضطرابات الجوية ورصدها.

(١) طبيعة تكوين السحب:

تتكون السحب نتيجة ارتفاع الهواء وتكاثف جزء من بخار الماء الموجود فيه. وأهم العوامل التي تؤدي إلى ارتفاع الهواء إلى أعلى، هي:

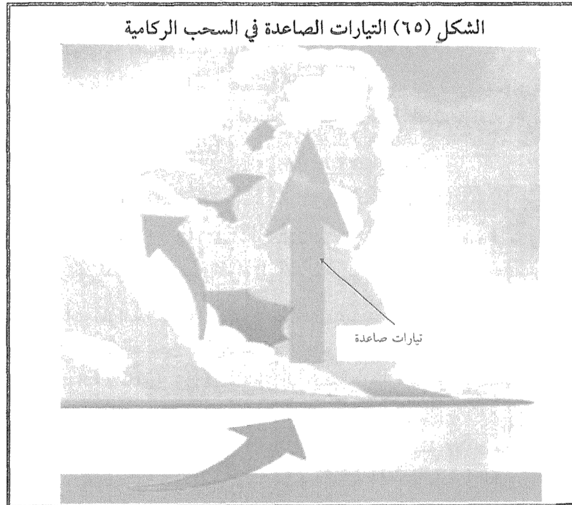
أ- التيارات الهوائية الصاعدة: ذكرنا سابقا أن السبب الرئيس لنشاط التيارات الصاعدة هو التسخين الشديد لسطح الأرض،وأن هذا العامل مهم في المناطق الاستوائية والمدارية وفي كل المناطق التي تسقط أمطارها في فصل الصيف مثل أواسط القارات.

تصل سرعة التيارات الصاعدة أحيانا إلى ٤٠ مترا في الثانية. إلا أن معظمها لا تزيد مساحته عن كيلومتر مربع واحد، ولذا فإنها بالغة الأهمية في تكوين نوع معين من السحب تعرف بالسحب الركامية (Cumulus Clouds).

ب- المنخفضات الجوية: تشهد الرياح ضمن أي منخفض جوي ارتفاعا بطيئا لا يتعدى بضعة سنتيمترات في الثانية، لكنه يتراوح قرب الجبهة الهوائية بين ٣٠-٥٠ سم/ الثانية.

جـ- العوارض الجبلية: ترتفع الرياح عند اصطدامها بالعوارض الجبلية الكبرى مثل جبال الروكي والانديز وغيرها. ويعرف هذا النوع من الارتفاع بالارتفاع التضاريسي (Orographic lifting). يؤدي ارتفاع الهواء في السحب، إلى تكاثف بخار الماء وتعويض السحب عما يتآكل منها عند الأطراف، نتيجة لاختلاف رطوبتها عن رطوبة الهواء المحيط بها. ولهذا فان بقاء السحب ونموها أو تلاشيها وزوالها هو نتيجة توازن دقيق بين مجموعة من العوامل التي تعمل على نمو السحب عن طريق تزويدها ببخار الماء، ومجموعة أخرى تعمل على تآكلها وتلاشيها.

الشكل (٦٥) التيارات الصاعدة في السحب الركامية



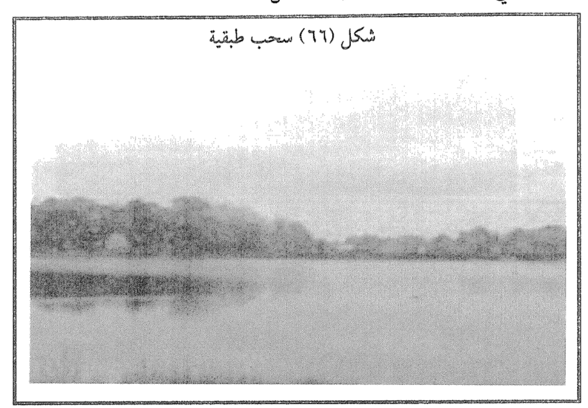
(٢) أنواع السحب

يمكن تصنيف السحب من حيث طبيعة تكوينها ومظهرها العام إلى ثلاث مجموعات رئيسة. وهذه المجموعات هي:

١- السحب الطبقية (Stratus)

تبدو هذه السحب على شكل صفائح أو طبقات رقيقة، تغطي السماء كلها أحيانا، فلا يظهر منه إلا بقع صغيرة. وهي ليست سحبا ممطرة، إلا في بعض الحالات النادرة التي تسقط فيها أمطارا خفيفة (الشكل ٦٦).

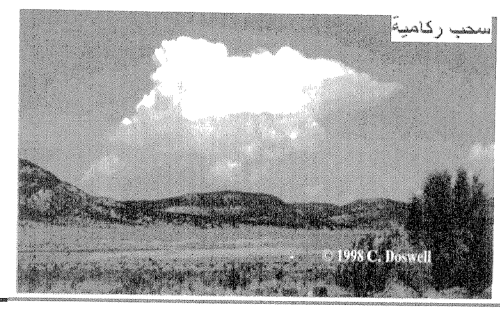
شكل (٦٦) سحب طبقية



٢- السحب الركامية (Cumulus Clouds):

تظهر هذه السحب على شكل كتل منفصلة، ويشبه شكلها الخارجي رأس القرنبيط (الشكل ٥٤). وهي ترتبط ارتباطا قويا بالتيارات الهوائية الصاعدة، ولذا فهي اكثر شيوعا في الصيف منها في الشتاء، كما أنها تكثر في المناطق الاستوائية وفي الأجزاء الماطرة من المناطق المدارية. ويقترن ظهورها في المناطق المعتدلة والباردة بالطقس الصحو، إلا أنها تكبر في الحجم أحيانا، بحيث تبدو على شكل أبراج أو جبال ضخمة، تسقط منها زخات من المطر الغزير الذي ترافقه رياح قوية، وتعرف عندئذ بالمزن الركامي (Cumulonimbus)، وهو من أكثر أنواع السحب إمطارا.

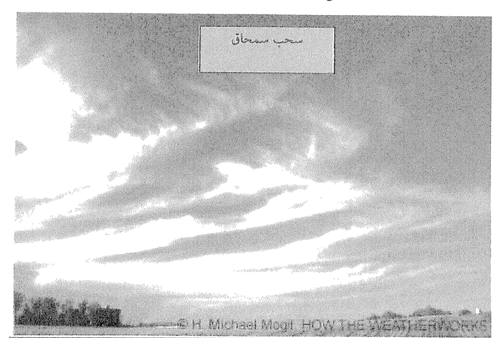
شكل (٦٧) سحب ركامية



٣- سحب السمحاق (Cirrus)

تتكون هذه السحب في طبقات الجو العليا وهي سحب، رقيقة تشبه في شكلها الصوف المنقوش أو الريش، ولونها أبيض ناصع في كل فصول السنة. وهي أعلى أنواع السحب، ويتكاثف بخار الماء فيها على شكل بلورات ثلجية (شكل ٦٨).

شكل (٦٨) سحب السمحاق



وتعد السحب الركامية والطبقية من فصيلة السحب المنخفضة، إلا إذا تكونتا في طبقات الجو العليا، فتعرفان عندئذ بسحب الركام المتوسط (Altocumulus)، والسحب الطبقية المتوسطة (Altostratus).

وبالإضافة إلى المجموعات الرئيسة من السحب التي سبق ذكرها، تتكون ـ في أحيان كثيرة ـ أنواع من السحب التي لا تنتمي إلى مجموعة بعينها، بل تحمل صفات مجموعتين من المجموعات الرئيسة، مثل السمحاق الطبقي (Cirrostratus)، والسمحاق الركامي (Cirrocumulus) والركام الطبقي (Stratocumulus)، والمزن الركامي، والمزن الطبقي، وغيرها.

(٣) ارتفاع السحب:

تصنف السحب، تبعا لارتفاعها، إلى ثلاثة أصناف رئيسة هي (لوحة ١٧):

١- سحب منخفضة: وهي السحب التي يقل مستواها عن كيلومترين، وتشمل السحب الطبقية والركامية، وسحب المزن الركامي، والركام الطبقي.
٢- سحب متوسطة: وهي السحب التي تتكون على مستويات تتراوح بين كيلومترين وسبعة كيلو مترات، وتشمل السحب الطبقية المتوسطة والركامية المتوسطة.
٣- سحب مرتفعة: وتشمل سحب السمحاق والسمحاق الطبقي والركامي، وهي تتكون على مستويات تزيد على سبعة كيلومترات.

وتكمن أهمية المستوى الذي تتكون عليه السحب، في مدى تأثيره على طبيعة التكاثف وفيما إذا كان على شكل قطرات مائية، أو بلورات جليدية، أو الاثنتين معا[1].

---

(١) يأخذ التكاثف في السحب أشكالا ثلاثة، فإما أن يكون على شكل قطيرات ماء صغيرة الحجم، كما هو الحال في السحب المنخفضة والدافئة، أو على شكل بلورات جليدية كما هو الحال في السحب المرتفعة والباردة، أو على شكل قطيرات فائقة التبريد (Super cooled droplets) تقل درجة حرارتها عن درجة التجمد بكثير وتتكون من سوائل وأحماض كما هو الحال في أجواء المدن الصناعية

(٤) غنى السحب بالماء وطبيعة التكاثف:

تتكون معظم السحب من قطيرات ماء صغيرة، إلا أن بعضها يحتوي على بلورات ثلجية، وقطيرات ماء متجمدة. إلا أن نسبة الماء الموجودة في معظم السحب ـ وكما سبق أن ذكرنا في بداية هذا الفصل ـ نسبة منخفضة، بل إن الرطوبة المطلقة لاتصل في معظم أنواع السحب إلى غرام واحد من الماء في المتر المكعب من الهواء. يستثنى من ذلك السحب الركامية التي تظهر في المناطق المدارية، والتي تمتاز بغناها الشديد ببخار الماء. وبما أن حجم الغرام الواحد من الماء هو سنتمتر مكعب، فان نسبة الماء في السحب تتراوح بين واحد في المليون إلى واحد في العشرة ملايين، وهي نسبة ضئيلة جدا. إلا أن السحب تختلف عن بعضها من حيث غناها بالماء، ومن حيث حجم قطرات الماء التي تتكاثف فيها، ونسبتها في السحابة، ومدى غناها بنويات التكاثف.

(٥) نويات التكاثف الجليدي

يجب أن نميز بين نوعين من نويات التكاثف هما نويات التكاثف العادية التي يتكاثف حولها بخار الماء على شكل قطيرات صغيرة، ونويات التكاثف الجليدية التي يتكاثف بخار الماء حولها على شكل بلورات جليدية. والنوع الأول من النويات هو النوع الشائع، أما النوع الثاني فنسبته في السحب أقل بكثير، إلا أن نسبته تزداد كثيرا كلما انخفضت درجة الحرارة. ويعتقد أن نسبة تلك النويات تتضاعف عشر مرات كلما انخفضت درجة الحرارة أربع درجات مئوية. ويعتقد أن المصدر الأساسي لنويات التكاثف الجليدي في السحب هو ذرات الكالونيت (Kalonite) الذي يعد من المعادن الرئيسة التي يتكون منها الصلصال.

وتشكل ذرات الغبار البركاني وحبيبات اللقاح مصادر أخرى لنويات التكاثف الجليدي. كما يساعد تساقط قطيرات ماء متجمدة وبلورات ثلجية صغيرة من سحب مرتفعة إلى أخرى منخفضة، على تزويد الأخيرة بنويات تكاثف جليدي.

(٦) تكون قطرات المطر

تتنافس قطيرات الماء الصغيرة التي تتكون منها السحب على النمو، خاصة وأن بخار الماء المتوفر في السحابة لا يسمح لها كلها بالنمو، فتبقى صغيرة خفيفة لا يزيد قطر الواحدة منها على عشرة ميكرونات. يحول الحجم الضئيل لتلك القطيرات دون هبوطها باتجاه سطح الأرض، ولو قدر لواحدة منها أن تسقط من سحابة منخفضة يقل ارتفاعها عن ١٠٠٠ متر، فإن رحلة الهبوط ـ لو تمت ـ ستستغرق أكثر من ١٤٥ ساعة. أما لو وصل قطرها إلى ٥٠٠ ميكرون ـ وهو متوسط قطر حبات المطر العادية ـ فإنها ستصل سطح الأرض خلال عشر دقائق فقط. فكيف تنمو تلك القطيرات الصغيرة حتى تصبح قطرات مطر عادية ؟.

توجد في الوقت الحاضر نظريتان تفسران نمو قطيرات الماء الصغيرة وتكون المطر. وهاتان النظريتان غير متعارضتين، بل تكملان بعضهما، وهما:

١- نظرية بيرغرون (Bergaron Theory)

تعرف هذه النظرية بنظرية اختلاط الماء والجليد، وهي تصلح لتفسير تكون المطر في السحب المرتفعة والمتوسطة، لا سيما التي يتم التكاثف في أجزائها العليا على هيئة بلورات جليدية أو قطيرات ماء فائقة التبريد، بينما يكون التكاثف في بقية أجزاء السحابة على شكل قطيرات ماء صغيرة الحجم. لا يبقى التكاثف في الأجزاء العليا من السحب بمعزل عنه في بقية أجزاء السحابة، إذ يساعد الاضطراب الشديد الذي تشهده أجزاء السحابة كافة، والذي يرتبط بتيارات الحمل الصاعدة والهابطة التي تبلغ أوج نشاطها في السحب، على امتزاج قطيرات الماء السائلة بقطيرات الماء فائقة التبريد وبالبلورات الثلجية. وبما أن نسبة البلورات الجليدية يقل ـ في العادة ـ عن نسبة قطيرات الماء العادية، فإن ضغط بخار الماء الإشباعي للسحابة بمجملها يساوي ضغط بخار الماء الإشباعي فوق المسطحات المائية.

لكن ضغط بخار الماء الإشباعي للبلورات الجليدية يساوي ضغط بخار الماء الإشباعي فوق الجليد، وهو يقل ـ كما هو مبين في الجدول (١٢) عن ضغط بخار الماء فوق الماء فائق التبريد، ولهذا فإن جزءا من بخار الماء الذي يحيط بقطرات الماء، يتكاثف على البلورات الجليدية مما يساعد على نموها، حتى تصبح التيارات الصاعدة غير قادرة على حملها فتهبط إلى أسفل، وتذوب أثناء هبوطها، فتصل سطح الأرض على شكل مطر.

٢- نظرية التحام قطيرات الماء

بالرغم من الأهمية الكبرى لنظرية بيرغرون، إلا أنها لا تستطيع إن تفسر تكون المطر في الكثير من السحب المنخفضة والدافئة، التي يكون كل التكاثف فيها على شكل قطيرات ماء صغيرة. ومن أبرز الأمثلة عليها السحب المدارية التي لا يزيد ارتفاع قاعدتها عن ١٠٠٠متر فقط، ولا تنخفض درجة الحرارة في أي جزء منها عن ٥ م.

ويمكن تفسير نمو قطيرات الماء الصغيرة في تلك السحب باختلاف حجم تلك القطيرات، إذ أن ذلك الاختلاف يجعل تلك القطيرات تتحرك في السحابة بسرعة مختلفة، مما يجعلها تصدم بعضها ببعض. يؤدي ذلك الاصطدام إلى التحامها مع بعضها ونمو البعض منها إلى قطرات مطر عادية. وتميز هذه النظرية بين مرحلتين للتكاثف تمر فيهما قطيرات المطر أثناء نموها. تشمل المرحلة الأولى نمو القطيرات الصغيرة عن طريق التكاثف، حتى يصل نصف قطر الواحدة منها ١٩ميكرونا على الأقل، بينما تشمل المرحلة الثانية نمو تلك القطيرات عن طريق الاصطدام.

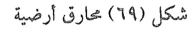
جدول (١٢)

اختلاف الضغط الإشباعي لبخار الماء بين الجليد وقطيرات الماء فائقة التبريد

درجة الحرارة (م)	ضغط بخار الماء الإشباعي	
	الماء فائق التبريد	الجليد
٥٠	٨٨,١٢	-
٤٠	٤٩,٨١	-
٣٠	٢٧,٦٩	-
٢٠	١٤,٥٩	-
١٠	٧,٧٦	-
٠	٣,٨٤	٣,٨٤
-١٠	١,٧٩	١,٦٣
-٢٠	٠,٧٨	٠,٦٥
-٣٠	٠,٣٢	٠,٢٤
-٤٠	٠,١٢	٠,٠٨

نشاطات الفصل السابع

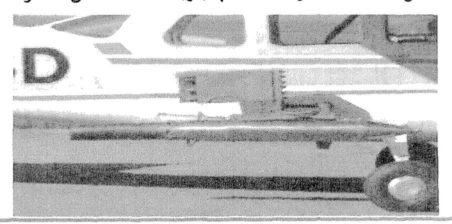
النشاط الأول: نظرا لفقر السحب بنويات التكاثف، فإن من الممكن الإسـراع في عمليـة التكاثف عن طريق تزويد تلك السحب بكميات كبيرة من نويـات التكـاثف الفعالـة. يمكن أن يتم ذلك عن طريق تزويد تلك السحب بأيوديد الفضة (Silver iodide) عن طريق محارق أرضية (الشكل ٦٩). و من خلال الطائرات التي تطير في وسط السحابة وتكون مزودة بجهاز ينفث فيها نويات التكاثف (الشكل ٧٠). المطلـوب كتابـة تقريـر علمي قصير عن تزويد السحب بنويات التكاثف.



شكل (٦٩) محارق أرضية



شكل (٧٠) جهاز تزويد السحب بنويات التكاثف من الطائرات



الفصل الثامن

الأمطار

تعد الأمطار من الناحية المناخية مظهرا من مظاهر الهطـول (Precipitation) الـذي يشمل أيضا كلا من البرد والثلج. وتمتـاز كـل واحـدة مـن تلـك الظواهـر الجويـة بخصائص مميزة سواء من حيـث الظـروف الجويـة المرافقـة لتكونـها أو مـن حيـث توزيعها المكاني.

(١) أنواع الأمطار

يمكن التمييز بين ثلاثة أنواع رئيسة من الأمطـار، تبعـا لاختـلاف العوامـل الـتي تؤدي إلى ارتفاع الهواء إلى أعلـى، وتكـون السـحب، وسـقوط الأمطـار. وهـذه الأنـواع الرئيسـة هـي الأمطــار الحمليــة، والأمطــار الإعصاريــة، والأمطــار التضاريسية. وبالرغم من أن لكل نوع من تلك الأمطار خصائص مميزة، وان كل نوع منها يسود في مناطق دون غيرها، فإن من الخطأ الاعتقاد أن الأمطــار في أيـة منطقة هي من نوع واحد فقط.

(١-١) الأمطار الحملية

تسقط الأمطار الحملية عندما يرتفـع الهـواء علـى شـكل تيـارات صـاعدة، نتيجـة التسخين الشديد لسطح الأرض، وعدم استقرار الهـواء. وبـالرغم مـن أن مسـاحة التيار الصاعد ليست كبيرة، إلا أن الهواء يرتفع فيـه بسـرعة كبـيرة، وعندمـا يصـل

مستوى التكاثف تتكون سحب ركامية[1]. وإذا كان الهواء شديد الرطوبة، كما هـو الحال في المناطق الاستوائية فإن سحب المـزن الركـامي تظـهر في السـماء، وتسـقط زخات قوية من الأمطار.

تمثل الأمطار الحملية النمط السـائد مـن الأمطـار في المنـاطق الاسـتوائية والمداريـة الرطبة مثـل؛ حـوض الكنغـو، وسـهول السـودان، وهضبـة البحـيرات في أفريقيـا وحوض الأمازون، والهضاب المدارية المحصـورة في جبـال الأنديـز. أمـا في المنـاطق المعتدلة، فإنها أكثر أهمية في المناطق التي تسقط أمطارها خلال فصل الصيـف مثـل أواسط القارات، كما أنها تشكل جزءا مهما من الأمطار التي تسقط خـلال فصلـي الربيع والخريف في معظم المناطق

تزداد كمية الأمطار الحملية كلما كانت التيارات الصاعدة أكثر قوة ونشاطا. ولهـذا فإن المتوسط السنوي للأمطار في المناطق الاستوائية السهلية والمنخفضة يزيـد كثـيرا عليه في المناطق المرتفعة. فـالمعدل السـنوي للأمطـار في حـوض الكنغـو يصـل إلى ١٨٠٠ مم، بينما يقل عن ١٠٠٠ مم في هضبة البحيرات الواقعة إلى الشرق منه.

وتعد الأمطار الحملية النمط المـميز للأمطـار في المنـاطق الصحراويـة كمنطقـة الخليـج العربي. وأهم خصائص الأمطار في تلك المناطق أنها تسـقط علـى هيئـة زخـات قويـة ينهمر المطر أثنائها بغزارة شديدة، لكنها لا تستمر إلا لفترات قصيرة، كما أنها لا تسقط إلا على مساحات محدودة، أو بقع صغيرة، ولا تسقط على بقع أخرى مجاورة.

كان يعتقد قديما أن تسخين سطح الأرض للهواء الملامس يكفي لأن تتكون تيارات هوائية صاعدة وأن تسقط الأمطار. إلا أن الدراسات المناخية الحديثة تلقـي ظـلالا

---

(١) ذكرنا سابقا أن ارتفاع الهواء يؤدي إلى انخفاض درجة حرارته وتنـاقص ضغطـه الإشـباعي، ولهذا فإن من الممكن أن نعرف مستوى التكاثف (Level of condensation) بأنه المستوى الذي تصل فيه درجة حرارة الهواء إلى الحد الذي يؤدي أي انخفاض آخـر لهـا إلى تكـاثف جزء من بخار الماء الموجود فيه وتكون السحب. ومما لا شك فيه أن ذلك المسـتوى يعتمـد على رطوبة الهواء وسرعة ارتفاعه . فكلما كان الهواء أكثر رطوبة كـان مسـتوى التكـاثف أقل ، كما أن مستوى التكاثف يتناسب عكسيا مع سرعة ارتفاع الهواء .

كبيرة من الشك على مدى صحة تلك النظرية، إذ إن الهواء مهما ارتفعت درجة حرارته، فإنه يبقى بحاجة إلى وجود عامل مباشر يرفعه إلى أعلى.

وأهم العوامل التي تعد أسبابا مباشرة لرفع الهواء، العوارض الطبوغرافية الصغيرة كالتلال، والعوارض النباتية والعمرانية كالأشجار والبنايات وغيرها.

ويميز بيري (Barry) بين ثلاثة أنماط من الأمطار الحملية، تبعا لطبيعتها ومساحة المنطقة التي تسقط عليها، وهي:

أ - الأمطار الحملية المقترنة ببعض الخلايا الحملية المنعزلة (**Convectional cells**):
لا تزيد مساحة المنطقة الواحدة التي يسقط عليها هذا النوع من الأمطار على ٢٠-٥٠كم^{٢} وتتراوح مدة العاصفة الماطرة بين نصف ساعة وساعة كاملة. ويقترن سقوط هذه الأمطار بعواصف رعدية وزخات متقطعة من البرد.

ب - الأمطار الحملية التي تسقط على شكل نطاقات طولية: ترتبط هذه الأمطار بما يعرف بـ" خط الزوابع Squall line" وهو عبارة عن جبهة ثانوية تتكون في القطاع الدافئ من المنخفض الجوي بفعل هبوط هواء بارد من أعلى وتشكيله جبهة ثانوية وسط القطاع الدافئ[١]. يتراوح عرض المنطقة التي تسقط عليها الأمطار بين ٤٠-١٠٠ كم، ويصل طولها إلى عدة مئات من الكيلومترات. ينتشر هذا النوع من الأمطار الحملية في المناطق المعتدلة والباردة.

جـ - الأمطار الحملية المرتبطة بارتفاع الهواء في الأعاصير المدارية: تقترن معظم الأمطار في المناطق المعتدلة بارتفاع الهواء على طول الجبهات الجوية المرافقة للمنخفضات الجوية، أما في المناطق المدارية، فإنه يقترن بالعواصف المدارية وإن كان مساره اليومي يتبع المسار اليومي لدرجة الحرارة، بحيث يبلغ أقصى نشاط له بعد الظهر وفي ساعات المساء الأولى.

---

(١) سيتم معالجة المنخفضات الجوية بأنواعها في الفصل الثاني عشر من هذا الكتاب .

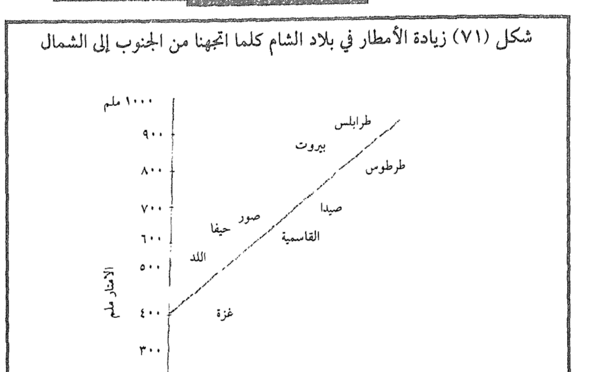
(١-٢) الأمطار الإعصارية

يمثل هذا النمط من الأمطار النمط الرئيس للأمطار في المناطق المعتدلة والباردة حيث يرتبط سقوط الأمطار ـ ولا سيما خلال فصل الشتاء ـ بتعرض تلك المناطق لمنخفضات جوية ناتجة عن التقاء كتل هوائية قطبية باردة بأخرى مدارية دافئة. تقترن تلك المنخفضات عادة بجبهات هوائية متميزة، باردة وأخرى دافئة، كما يتضمن كل منخفض منها قطاعا للهواء البارد وآخر للهواء الدافئ.

يرتفع الهواء في المنخفضات الجوية على طول الجبهتين الباردة والدافئة، مما يؤدي إلى تكاثف بخار الماء وسقوط الأمطار. إلا أن الأمطار التي ترافق الجبهة الدافئة هي في الغالب أمطار خفيفة إلى متوسطة، ولا سيما وأن الهواء يرتفع على طول تلك الجبهة ببطء شديد. أما عندما تصل الجبهة الباردة، فإن المطر يسقط بغزارة وترافقه في بعض الأحيان عواصف رعدية عنيفة.

وبما أن المنخفضات الجوية هي العامل الرئيس لسقوط الأمطار في المناطق الباردة والمعتدلة، ولا سيما المناطق الواقعة بين خطي عرض ٤٠-٦٠ ، وأن أكثر تلك المناطق تعرضا لها هي المناطق الواقعة عند خط عرض ٤٥، وأن نسبة تلك المنخفضات تقل كلما ابتعدنا عن ذلك الخط، فإن أكثر المناطق أمطارا هي الواقعة عند خط العرض المذكور، وأن المعدلات السنوية للأمطار تقل كلما ابتعدنا عن ذلك الخط. يبدو ذلك واضحا من الشكل (١٠-١) الذي يبين زيادة الأمطار في بلاد الشام كلما اتجهنا من الجنوب إلى الشمال.

شكل (٧١) زيادة الأمطار في بلاد الشام كلما اتجهنا من الجنوب إلى الشمال



(١-٣) الأمطار التضاريسية

يزداد المعدل السنوي للأمطار في المناطق المعتدلة كلما ازداد الارتفاع. والحقيقة أن المناطق الجبلية تظهر على خرائط الأمطار على هيئة جزر مطيرة تحيط بها مناطق أقل إمطارا. ولعل السبب في ذلك، هو أن الرياح تضطر ـ عندما تصطدم بسلاسل جبلية ضخمة ـ إلى الارتفاع حتى تتمكن من اجتياز الحاجز الجبلي، فتنخفض درجة حرارتها وتتكون فيها السحب، وتسقط الأمطار. يبدو هذا واضحا، عند مقارنة المعدل السنوي للأمطار في السفوح الجبلية المواجهة للرياح الرطبة مع السفوح الأخرى المحجوبة عنها، والتي تقع ـ فيما يعرف ـ بظل المطر (Rain shadow).

لا ترجع زيادة الأمطار في المناطق الجبلية إلى كون الجبال عوارض طبوغرافية فحسب بل إلى مجموعة أخرى من العوامل التي تترتب على اعتراض الجبال للرياح الرطبة وأهمها:

- يزيد اصطدام الرياح بالعوارض الجبلية من اضطرابها وعدم استقرارها.
- يؤخر اعتراض الجبال من سرعة الجبهات والمنخفضات الجوية، مما يزيد من طول المدة التي تتعرض فيها تلك المرتفعات للأمطار.
- يزيد تجمع الهواء في الأودية والأحواض الجبلية من عدم استقراره.
- تساعد الجبال على بدء نشاط تيارات الحمل وزيادة حدتها.

وبالرغم من ذلك، فإن أثر التضاريس في زيادة الأمطار يتناسب طردا مع عدد من العوامل الأخرى، وأهمها:

- رطوبة الجو
- سرعة الرياح
- ارتفاع الجبال ولا سيما العوارض الجبلية التي يزيد ارتفاعها على ٥٠٠ متر
- عرض الجبال
- الزاوية التي تصنعها الرياح مع الجبال. فكلما كانت الرياح تهب عمودية على الحواجز الجبلية، فإن تأثيرها على سقوط الأمطار يكون كبيرا. أما إذا كانت موازية للسلاسل الجبلية فأن تأثيرها يبقى محدودا.
- اختلاف درجة الحرارة بين اليابسة والماء، فإذا كان الاختلاف كبيرا ـ كما هو الحال خلال فصل الشتاء ـ كان اثر العوارض الجبلية أشد وأقوى.

(٢) زيادة الأمطار بالارتفاع:

تسقط أغزر الأمطار، على المناطق الجبلية المرتفعة، القريبة من المسطحات المائية والمتعامدة مع اتجاه الرياح، فالأمطار السنوية في شيرابنجي (Cherrapunji) الواقعة على السفوح الجنوبية من تلال خاسي (Khasi) في شمال شرق الهند، والمواجهة للرياح الموسمية الجنوبية الغربية، تزيد على ١٠٠٠ سم، وتصل في أحد جبال جزر هاوائي وهو جبل كوي (Kauai)، إلى ١٢٥٠ سم. ومن أهم العوامل التي تساعد

على الغزارة الشديدة للأمطار في شيرابنجي، ارتفاعها الشديد الذي يصل إلى ٤٣٠٠ قدم، ومواجهتها للرياح الموسمية ودفء مياه خليج البنغال.

وتعد ظاهرة تزايد الأمطار بالارتفاع، ظاهرة عامة في المناطق المعتدلة والباردة، لكن أغزر الأمطار لا تسقط ـ في العادة ـ على قمم الجبال نفسها، بل على المنطقة التي تليها مباشرة. ولعل السبب في ذلك، هو أن الرياح لا تتوقف عن الارتفاع بعد وصولها إلى قمة الجبل مباشرة، بل تستمر في الارتفاع قليلا، ولا سيما إذا كانت الكتلة الهوائية غير مستقرة

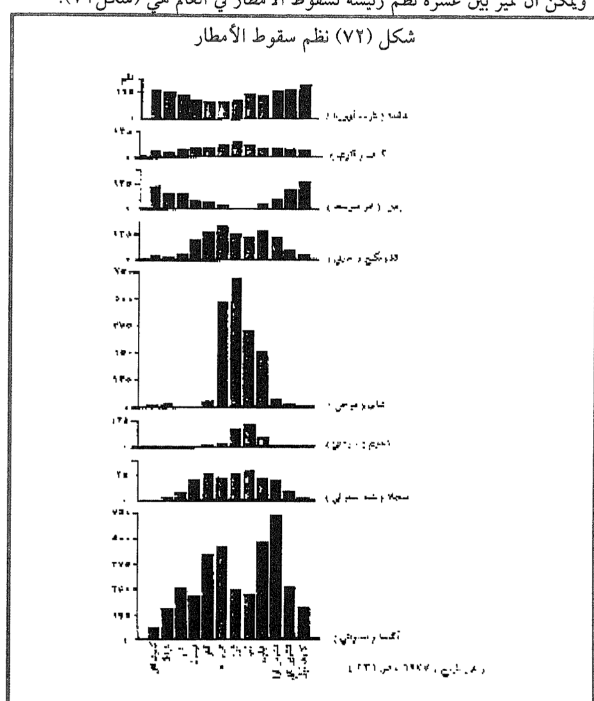
أما في المناطق المدارية، فإن العلاقة بين الأمطار والارتفاع ليست بهذه البساطة، إذ إن بعض الدراسات تشير إلى أن الأمطار في المناطق المدارية لا تستمر في الزيادة بالارتفاع إلا إلى حد معين، ثم تأخذ بعده في التناقص. والأمثلة على ذلك كثيرة، فالحد الأقصى من الارتفاع الذي تتوقف عنده الأمطار عن الزيادة في المرتفعات الجبلية لجزيرة جاوه، هو ١٢٠٠ متر فقط، بل إن الأمطار تأخذ في التناقص بعد ارتفاع ٢٠٠٠ متر. وتظهر الظاهرة نفسها في مرتفعات هاوائي، وفي أمريكا الوسطى. وقد وجد هاستنراث (Hastenrath) ان اغزر الأمطار في مرتفعات غواتيمالا، تسقط على ارتفاع ١٠٠٠ متر تقريبا، كما وجد ارمسترونج (Armstrong) أن الحد الأقصى من الأمطار في سلاسل جبال نيفادا، يقع على مستوى ١٥٠٠ متر.

والسبب الرئيس لتناقص الأمطار في المناطق المدارية بعد ارتفاع معين، هو ان السحب المدارية الماطرة ـ في الغالب ـ سحب ركامية منخفضة، لا يزيد ارتفاع قممها على ٣٠٠٠ متر. و بالتالي فان مستوى قواعدها ـ حيث تتركز الأمطار ـ يقع دون ذلك بكثير. أما في المناطق المعتدلة والباردة فان السحب السائدة هي ـ في الغالب ـ سحب طبقية مرتفعة، ولهذا فان الأمطار تستمر في الزيادة المطردة كلما ازداد الارتفاع.

(٣) نظم سقوط الأمطار :Rainfall Regimes

يقصد بنظام سقوط المطر، المعدل السنوي للأمطار، والتوزيع الشـهري والفصلـي لها. وقد جرت العادة على تمثيـل ذلـك كارتوغرافيـا باسـتخدام الأعمـدة البيانيـة. ويمكن أن نميز بين عشرة نظم رئيسة لسقوط الأمطار في العالم هي (شكل٧٢).

شكل (٧٢) نظم سقوط الأمطار



١- النظام الاستوائي:

يتمثل في المناطق الواقعة بين خطي عرض ٥ شمالي وجنوبي خط الاستواء. ويتراوح المعدل السنوي للأمطار في هذا النظام بين ١٥٠و٢٥٠ سنتمترا ، موزعة على مدار العام. يظهر في النظام الفصلي للمطر في هذا النظام قمتان واحدة في الربيع وأخرى في الخريف. وكما نلاحظ في الشكل (٥٨)، فإن القمتين تقعان في الفصلين اللذين تكون الشمس فيهما متعامدة على خط الاستواء. وتمثل هذا النظام بلدة أكاسا الواقعة في غرب أفريقيا.

٢- النظام شبه الاستوائي:

يظهر هذا النظام في المناطق الواقعة بين درجتي عرض ٥ و ٨ شمالي وجنوبي خط الاستواء. يقل المعدل السنوي للأمطار في هذا النظام عنه في النظام السابق، كما أن قمتي المطر تقتربان من بعضهما كثيرا، وتمثله بلدة منجلا في جنوب السودان.

٣- النظام السوداني (المناخ المداري القاري):

يختلف هذا النظام عن النظامين السابقين في أن معظم أمطاره تسقط خلال فصل الصيف، ولهذا فإنه لا يوجد للتوزيع الفصلي للأمطار ـ في هذا النظام ـ إلا قمة واحدة تحدث خلال فصل الصيف. يتمثل هذا النظام في المناطق الواقعة على جانبي النظام شبه الاستوائي، ويمتد حتى خط عرض ١٨، وتمثله بلدة الدويم في السودان.

٤- النظام المداري البحري (نظام موزبيق):

يتمثل هذا النظام في بعض السواحل الشرقية للقارات، مثل سواحل موزمبيق وجنوبي كل من الولايات المتحدة والبرازيل والأرجنتين. تسقط أمطار هذا النظام طوال العام، ويتراوح المعدل السنوي للمطر بين ١٠٠ و ٢٠٠سم.

٥- النظام الموسمي:

يظهر هذا النظام بشكل خاص في جنوب شرقي وشرقي القارة الآسيوية، وتسقط معظم أمطاره خلال فصل الصيف بسبب الرياح الموسمية، ويتراوح المعدل السنوي للأمطار في بعض جهاته بين ١٥٠-٣٠٠سم، وتمثله مدينة بومباي في الهند.

٦- نظام البحر المتوسط:

تتركز معظم الأمطار في هذا النظام خلال فصل الشتاء، وتسببها المنخفضات الجوية، وهو يظهر على السواحل الغربية للقارات بين خطي عرض ٣٠ و ٤٠ تقريبا وأكثر ما يتمثل في منطقة حوض البحر المتوسط، وتمثله مدينة أزمير في تركيا.

٧- النظام الصيني:

يظهر هذا النظام على السواحل الشرقية للقارات الواقعة في العروض نفسها التي يظهر فيها إقليم البحر المتوسط، وأكثر المناطق التي يتمثل فيها هي جنوبي ووسطها الصين. يتراوح المعدل السنوي للأمطار في هذا النظام بين ١٠٠ و ٢٠٠ سم، وهي تسقط طوال العام، وإن كان معظمها يتركز في فصل الصيف، حيث يتعرض هذا النظام لتأثير الرياح الموسمية وتمثله مدينة تشونكنغ في الصين.

٨- نظام غربي أوروبا:

يظهر هذا النظام على السواحل الغربية للقارات بين خطي عرض ٤٠ و ٦٠ تقريبا، تسقط فيه الأمطار طول العام بسبب المنخفضات الجوية، لكن معظمها يتركز في فصل الشتاء. وأكبر منطقة يتمثل فيها هذا النظام، هي السواحل الغربية لأوروبا. ويتراوح معدل الأمطار السنوية فيه بين ١٠٠ و ٢٥٠ سنتمتر، وتمثله مدينة فالنتينا الايرلندية.

٩- النظام القاري في العروض المعتدلة:

يظهر هذا النظام في المناطق الداخلية من القارات، الواقعة ضمن نطاق الرياح الغربية، ولا سيما في أواسط قارتي أوراسيا وأمريكا الشمالية. تتركز معظم الأمطار

في هذا النظام في الصيف والربيع، عندما تكون أواسط القارات مراكز ضغط جوي منخفض والتيارات الهوائية الصاعدة نشطة، وتمثله مدينة كييف في أوكرانيا.

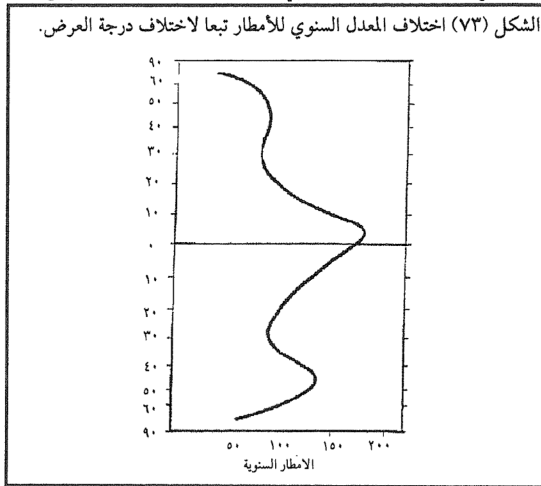
١٠-النظام الصحراوي:

يظهر هذا النظام بشكل خاص في نطاق الصحاري المدارية الواقعة في شمال أفريقية والجزيرة العربية. والأمطار فيه قليلة، ويغلب عليها الطابع العشوائي وإن كانت تقترن في معظمها بنظم سقوط المطر في المناطق المحيطة.

(٤) التوزيع الجغرافي للأمطار:

بالرغم من أن المعدل السنوي للأمطار في العالم يبلغ ٩٧٥مم، إلا أنه يقل عن ١٢٥ مم في مساحات شاسعة من سطح الأرض، بينما يزيد على ١٠٠٠ملم في مناطق أخرى. ويبين الشكل (٧٣) اختلاف المعدل السنوي للأمطار تبعا لاختلاف درجة العرض.

الشكل (٧٣) اختلاف المعدل السنوي للأمطار تبعا لاختلاف درجة العرض.



وأهم ما يبينه ذلك الشكل هو:

١- أكثر مناطق العالم أمطارا هي المنطقة الاستوائية، إذ يزيد المعدل السنوي للأمطار فيها على ١٦٠٠ مم. ويلحظ ان النصف الشمالي من هذه المنطقة، اكثر أمطارا من النصف الجنوبي، لأن الجبهة الاستوائية تبقى في ذلك الجزء اكثر مما تبقى في النصف الجنوبي.

٢- تتناقص الأمطار كلما ابتعدنا عن المنطقة الاستوائية حيث يبلغ المعدل السنوي للأمطار أدنى حد له في المناطق المدارية الواقعة بين خطي عرض ٢٠-٣٠ وهي أكثر مناطق العالم جفافا وتقع فيها أشهر الصحاري المدارية في العالم.

٣- تأخذ الأمطار في الزيادة مرة أخرى باتجاه الشمال والجنوب حيث تقع المناطق المعتدلة الواقعة بين خطي عرض ٤٠-٥٥ درجة. وترتبط أمطار هذه المناطق بالمنخفضات الجوية التي تتعرض لها، ولا سيما خلال فصل الشتاء. ويلاحظ ان الأمطار اكثر في النصف الجنوبي منها في النصف الشمالي، كما أنها اكثر فوق المسطحات المائية منها فوق اليابس.

٤- تتناقص الأمطار بعد خط عرض ٥٥، بسبب تعرض تلك المناطق إلى ضغط جوي مرتفع. وكما هو مبين في الشكل (٧٤) الذي يبين التوزيع الجغرافي للأمطار في العالم أن أكثر مناطق العالم جفافا هي:

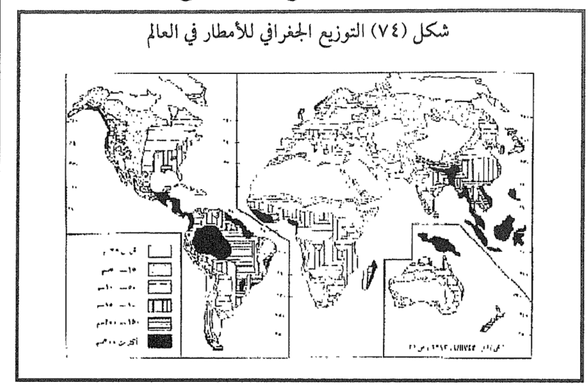
١- الصحاري المدارية الواقعة بين خطي عرض ٢٠-٣٠ شمالا، حيث تقع الصحراء الكبرى، والصحراء العربية في الجزيرة العربية، وصحراء كلهاري، والصحراء الأسترالية. والسبب الرئيس لجفاف هذه المنطقة هو الضغط الجوي المرتفع الذي تتعرض له طول العام والناتج عن هبوط الهواء، وتكون انعكاس حراري علوي يمنع أي ارتفاع كبير للهواء.

٢- الصحاري المعتدلة الواقعة في أواسط القارات، مثل صحاري أواسط آسيا، حيث يلعب عامل البعد عن المسطحات المائية دورا بارزا في جفافها.

٣- الصحاري الباردة في المناطق القطبية، والتي يرجع السبب في جفافها إلى برودة الهواء وقلة مقدرته على حمل بخار الماء.

أما اكثر مناطق العالم أمطارا فهي المناطق الاستوائية في أفريقيا وأمريكا الجنوبية وجنوبي القارة الآسيوية، حيث يزيد المعدل السنوي للأمطار على ٢٠٠ سم، والمناطق الموسمية في شرقي وجنوب شرقي القارة الآسيوية، وفي المناطق الساحلية من غربي القارات حيث يسود نظام غرب أوروبا. ويبرز دور السلاسل الجبلية الكبرى في زيادة كمية الأمطار على السفوح المواجهة للرياح الماطرة.

شكل (٧٤) التوزيع الجغرافي للأمطار في العالم

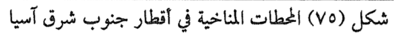


نشاطات الفصل الثامن

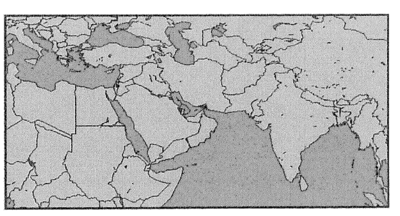
النشاط الأول: يؤدي تلوث الغلاف الجوي في المدن الصناعيـة الكبـيرة إلى هطـول أمطار حامضيـة خاصـة في المنـاطق البـاردة والمعتدلـة البـاردة. حـدد علـى شـبكة الانترنيت ثلاثة مواقع رئيسية تعـالج موضـوع الأمطـار الحامضيـة واكتـب تقريـرا علميا قصيرا تعالج فيه ذلك الموضوع.

النشاط الثاني: يتضمن الموقع التالي على شبكة الانـترنيت معلومـات مناخيـة عـن عدد من المحطات المناخية في أقطار جنوب شرق آسيا (الشكل).

http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/afghan/data /



شكل (٧٥) المحطات المناخية في أقطار جنوب شرق آسيا



المطلوب أن يختار كل طالب الملخص المناخي للمحطة المناخية الرئيسـية الواقعـة في عاصمة ستة دول من الدول المبينة في الشـكل السـابق ومقارنـة التوزيـع الشـهري للأمطار بينها باستخدام الأعمدة البيانية.

النشاط الثالث: يتضمن الموقع التالي على شبكة الانترنيت تصنيفا للأمطار إلى ست أصناف تبعا لغزارتها (http://en.wikipedia.org/wiki/Rain).

المطلوب الرجوع إلى ذلك الموقع وتحديد الأصناف الستة للأمطار.

النشاط الرابع: المطلوب هو الرجوع إلى موقـع دائـرة الأرصـاد الجويـة الأردنيـة علـى شبكة الانترنيت: والاستفادة منه في كتابة تقرير عن خصائص الأمطار في الأردن.

الفصل التاسع

البرد

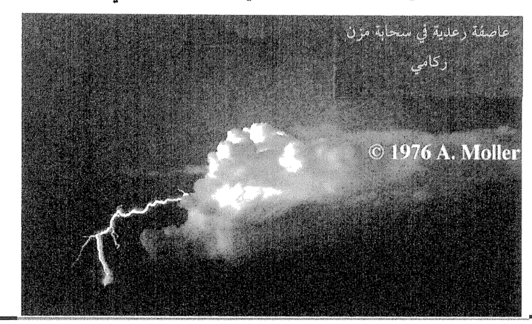
يرتبط سقوط البرد في الغالب بحدوث العوصف الرعدية (Thunderstorms)، ولهذا فإن من الأفضل مناقشة العواصف الرعدية أولا.

(١) العواصف الرعدية

تعد العواصف الرعدية من أبرز النظم الجوية المحلية التي تعمل على تبادل الطاقة بين سطح الأرض والغلاف الجوي، وتحافظ على الشحنة الكهربائية السالبة لسطح الأرض. فطبقة الايونوسفير ذات شحنة كهربائية موجبة يمكن ان تقضي على الشحنة الكهربائية السالبة لسطح الأرض في دقائق معدودة، لولا التيارات المعاكسة التي تصدر من سطح الأرض بوساطة التفريغ الكهربائي الذي يرافق العواصف الرعدية. ونظرا للارتباط القوي بين العواصف الرعدية والتدرج الكهربائي الكامن بين سطح الأرض والايونوسفير فإن تلك العواصف تبلغ أقصى نشاط لها بعد الظهر وفي ساعات المساء الأولى عندما يبلغ التدرج الكهربائي أوجه.

والعاصفة الرعدية ظاهرة جوية محلية تحدث في سحب المزن الركامي التي تمتاز عادة بالسمك الكبير، والرطوبة الوفيرة، وبشدة الاضطراب. وقد بينت عمليات مراقبة تلك السحب من أعلى، أنها تتكون من مجموعة من الخلايا الحملية (Convectional Cells) التي يكثر فيها الاضطراب (شكل ٧٦). وبما أن تلك الخلايا تتكون في وسط السحابة، فإنها تكون في منأى عن عملية التآكل التي تصيب أطراف السحابة، ويعتمد نشاطها وقوتها على نشاط التيارات الصاعدة التي تغذيها. ومما لا شك فيه، أن المصدر الرئيس للطاقة في العواصف الرعدية هو نشاط تلك التيارات وتكاثف بخار الماء.

شكل (٧٦) عاصفة رعدية في سحابة مزن ركامي



تنشأ العواصف الرعدية في الهواء الرطب غير المستقر عندما يضطر إلى الارتفاع إلى أعلى لسبب من الأسباب التالية:

١- مرور كتلة من الهواء البارد على سطح مائي دافئ، كما هو الحال في العواصف الرعدية التي تتكون على المسطحات المائية في الليل، لا سيما في الأوقات التي يكون فيها الفرق بين درجة حرارة الهواء وسطح الماء قد بلغ أوجه.

٢- التسخين الشديد للهواء الرطب فوق اليابسة كما هو الحال في العواصف الرعدية الكثيرة التي تحدث في المناطق الاستوائية خاصة بعد الظهر وفي ساعات المساء الأولى.

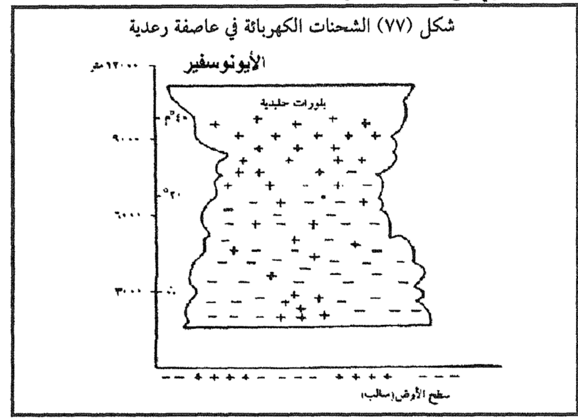
٣- تحول كتلة هوائية من الاستقرار المشروط إلى عدم الاستقرار عند مرورها عبر سلسلة جبلية مرتفعة.

٤- ارتفاع الهواء الرطب على طول الجبهات الهوائية أو خط العواصف. ولهذا فإنه يجب التفريق بين عاصفة رعدية منعزلة تحدث نتيجة اختلاف تسخين الهواء الرطب على سطح الأرض، وبين العواصف الرعدية التي تحدث على شكل نطاق طولي متصل يمتد في القطاع الدافئ من المنخفضات الجوية موازيا للجبهة الباردة ويتراوح عرضه بين ٢٥ - ٩٠ كم ويصل طوله إلى عدة مئات من الكيلومترات.

أكثر المناطق التي تحدث فيها العواصف الرعدية هي المنطقة الاستوائية والمناطق المعتدلة، لكنها لا تحدث في المناطق القطبية إلا نادرا، وذلك لقلة نشاط التيارات الهوائية الصاعدة في تلك المناطق. ولا تحدث العواصف الرعدية في المناطق الجافة إلا نادرا، كما أنها نادرة الحدوث في المناطق البحرية، بينما تكثر في أواسط القارات خاصة في فصل الصيف. ويرافق العاصفة الرعدية عادة زخات من المطر الغزير، كما يرافقها أحيانا زخات من البرد والبرق والرعد.

والبرق ظاهرة جوية تحدث نتيجة تفريغ كهربائي بين السحابة وسطح الأرض أو بين الجزء العلوي من السحابة والجزء السفلي، كما انه قد يتم بين سحابتين متجاورتين (شكل ٧٧). وقد أصبح الآن واضحا خطأ النظرية القديمة التي تفسر التوزيع الكهربائي في السحابة على أساس نمو قطرات المطر وتفتتها إلى أجزاء ذات شحنات كهربائية مختلفة فالأجزاء الكبيرة تكون ذات شحنة موجبة، وتتجمع في قاعدة السحابة بينما تتطاير الأجزاء الدقيقة ذات الشحنة السالبة إلى أعلى مما يجعل الجزء العلوي من السحابة مشحونا بشحنة سالبة.

شكل (٧٧) الشحنات الكهربائة في عاصفة رعدية



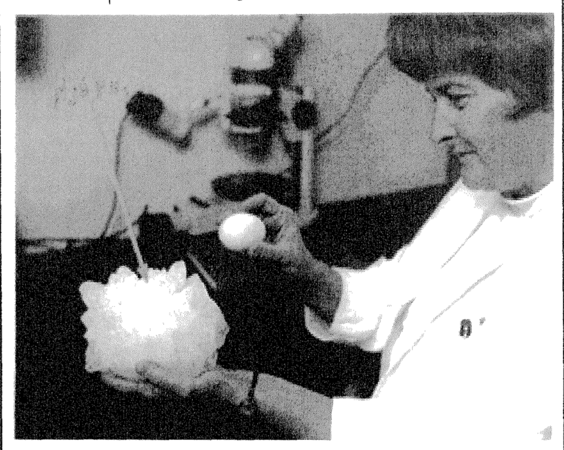
تعتمد النظريات الحديثة في تفسير الاختلاف بين الشحنة الكهربائية الموجبة لقمة السحابة والشحنة السالبة لقاعدتها على أساس اختلاف الشحنة الكهربائية للسطح الأعلى من قطيرات الماء عن الشحنة السالبة لسطحها السفلي بفعل تأثير كل من سطح الأرض والأيونوسفير. وعندما تحدث العاصفة الرعدية ينتقل من سطح الأرض إلى قاعدة السحابة تيار موجب وينتقل من قمة السحابة الى الايونوسفير تيار موجب أيضا. وينتج البرق عن الشرارة الكهربائية التي ترافق التيار الكهربائي، أما الرعد فهو الصوت الناتج عن تمدد الهواء.

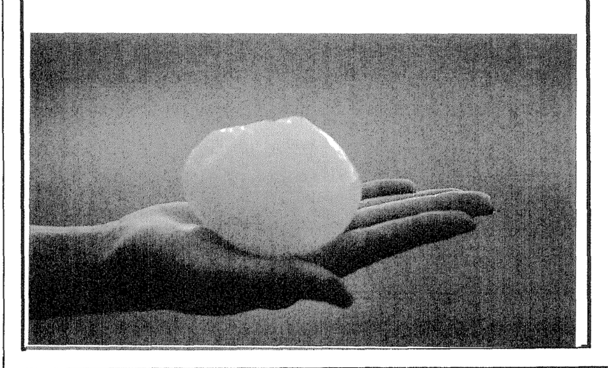
وتشير بعض الدراسات الحديثة أن العواصف الرعدية تزيد في المدن عنها في الريف، ويعزى ذلك إلى شدة تهيج الهواء في المدن وارتفاع نسبة التلوث بالشوائب ووفرة نويات التكاثف المتميعة.

(٢) تكون البرد

يسقط البرد على شكل كرات جليدية معدل قطر الواحدة منها ٥,١ سم، وان كان قطر بعض حبات البرد الكبيرة (Hailstones) يصل الى ١٠ سم أحيانا، ويزيد وزن الواحدة منها عن نصف كيلوغرام (شكل ٧٨). ويلاحظ ان حبات البرد الكبيرة تتكون من طبقات متعاقبة يمكن تمييزها بوضوح، مما يدل على ان التكاثف حول النواة الأصلية لم يحدث في وقت واحد، وإنما في فترات متعاقبة (شكل ٧٩).

شكل (٧٨) حبة برد كبيرة يصل وزنها إلى ٧٥٠ غم





شكل (٧٩) طبقات في حبة البرد



وتعتمد النظرية التقليدية في تفسير تكون البرد، على نشاط التيارات الهوائية الصاعدة والهابطة في سحب المزن الركامي التي يقترن سقوط البرد بها، والتي تمتاز بسمكها الكبير، وغناها ببخار الماء، وبنشاط كبير للتيارات الهوائية، مما يجعل حبات البرد أثناء هبوطها تعود فترتفع إلى أعلى عدة مرات، ويزداد التكاثف عليها حتى تصل حجما معينا لا تقوى التيارات الصاعدة على حمله، فتهبط إلى سطح الأرض على شكل زخات قوية تلحق بالمزروعات خسائر كبيرة.

إلا أن هذه النظرية يعوزها الدليل الملموس على صحتها، كما أن الكثير من التجارب المخبرية لم تؤكدها، والاعتقاد السائد حاليا، هو أن تكون البرد يرتبط بتكاثف المزيد من قطيرات الماء المتجمدة في الأجزاء العلوية من السحابة حول نويات تكاثف جليدية. كما أن قطيرات الماء الصغيرة في السحابة قد تتجمد عند

ارتفاعها وتنمو عن طريق الاتحاد فيما بينها. والملاحظ أن البرد لا يتكون في كل السحابة، بل في بقع صغيرة منها هي أشد جهاتها اضطرابا وتهيجا.

وأهم الظروف الجوية التي تقترن بها العواصف البردية هي:

١- انخفاض درجة الحرارة في طبقات الجو العليا، بحيث تتراوح درجة الحرارة في الطبقات التي يتكون فيها البرد بين - ١٢ م و - ٣٥ م.

٢- تطور حالة قوية من عدم الاستقرار الجوي خاصة إذا تدفق إلى طبقات الجو العليا هواء بارد ورافق ذلك على سطح الأرض وصول كتلة هوائية دافئة.

٣- ارتفاع نسبة بخار الماء في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي.

٤- أن تكون حركة الرياح في طبقات الجو العليا حركة إعصارية.

٥- ألا يوجد اختلاف كبير في سرعة الرياح بالارتفاع.

٦- انخفاض درجة حرارة الهواء القريب من سطح الأرض.

(٢-١) مناطق سقوط البرد

يتطلب سقوط البرد نشاطا قويا في تيارات الهواء الصاعدة، ولذا فإنه نادرا ما يسقط في المناطق القطبية، كما أنه ظاهرة نادرة الحدوث في المناطق المدارية الحارة. واكثر الجهات التي يسقط فيها البرد هي المناطق المعتدلة الواقعة بين درجتي عرض ٣٠ - ٦٠ . والعواصف البردية ظاهرة محلية صغيرة، فالحد الأقصى لمسار العاصفة البردية لا يزيد على ٩٠ كم، بل إن مسارات معظم العواصف البردية لا يزيد على ٣٥كم. وقد لوحظ أن العواصف البردية تحدث في مناطق معينة أكثر من غيرها، فقد وجد سمرز وبول (Summers & Paul) أن المناطق التي يكثر تعرضها للبرد في الولايات المتحدة، تمتد على شكل نطاقات طولية تقع على بعد ١٢٠كم إلى الشرق من جبال الروكي، ويفصل بين الواحد منها والآخر ٥٦-٦٥كم (Summers, P. W., & Paul,A.H.,1970). وقد عزى ذلك النمط المكاني المنتظم

لمناطق سقوط البرد، إلى نشوء حركة موجية منتظمة (Wavy Motion) في مسار الرياح الغربية نتيجة عبورها جبال الروكي[١].

ويلاحظ ان احتمالات سقوط البرد تزيد فوق المناطق الجرداء والمعبدة عنها فوق الغابات والمناطق الزراعية، كما أنه أكثر في المدن منه في الريف والضواحي، خاصة وأنه تكثر في أجواء المدن الشوائب المتميعة ونويات التكاثف الجليدي. ومن أبرز الأمثلة على ذلك أن أعلى معدلات سقوط البرد في الأردن تحدث في وسط مدينة عمان حيث ترتفع نسبة تلوث الهواء عنها في أي مكان آخر في الأردن (Shehadeh,1993).

والبرد ليس ظاهرة محدودة ونادرة على النطاق المكاني فحسب، بل وعلى النطاق الزماني أيضا. فقد وجد هاداس (Hadas) من تحليل التوزيع التكراري لسقوط البرد في فلسطين، أن عدد المرات التي يسقط فيها البرد سنويا لا تزيد على ثماني مرات، وأن الانحراف المعياري يصل إلى ٧,٥ مرة (Hadas,A.,1967). أما المعدل السنوي لأيام سقوط البرد فلا يزيد عن٤,٤ يوم، ويبلغ الانحراف المعياري ٢,٢٥ يوما.

وبما أن البرد من الظواهر الجوية نادرة الحدوث، فإن أفضل التوزيعات الاحتمالية لتمثيله هو توزيع بوايسون (Poisson distribution)[٢]. وقد لاحظ ريل (Reihl) وجود علاقة طردية قوية بين عدد أيام البرد في مدينة دنفر بولاية كولارادو ومعدل الأمطار(Reihl,H.,1965). ووجد ظاهر أن عدد أيام سقوط البرد في منطقة المرتفعات الجبلية في الأردن يتناسب طردا مع الارتفاع، وأن معامل الارتباط بينهما يصل إلى ٠,٨٧ (ظاهر، ١٩٩٣).

---

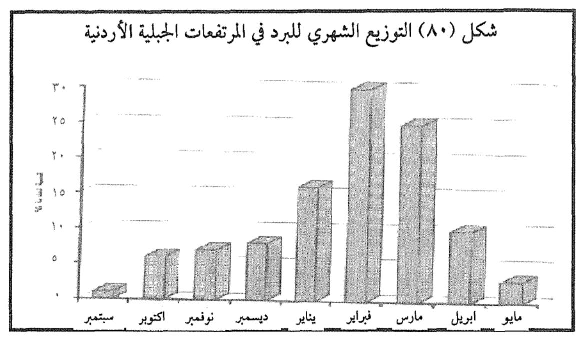
(١) لمزيد من التفصيلات عن الحركة الموجية لمسارات الرياح العليا ، وعن أثر الجبال في تكوين أمواج قصيرة في تلك المسارات ، انظر (شحادة ، ١٩٨٨) .

(٢) لمزيد من التفصيلات عن توزيع بوايسون وغيره من التوزيعات الاحتمالية، انظر (شحادة، ١٩٩٧).

(٢-٢) التوزيع الفصلي للبرد:

يزيد سقوط البرد في المناطق المعتدلة في فصلي الصيف والربيع عنه في الشتاء أما في الجزء الشرقي من حوض البحر المتوسط فان الأمر يبدو مختلفا، إذا ان البرد يتركز في الشتاء وبشكل خاص في شهر شباط/ فبراير (شكل ٨٠). ويقترن برد الشتاء بوصول منخفضات وجبهات هوائية باردة، بينما يقترن البرد الذي يسقط في الربيع والخريف بوصول منخفضات جوية دافئة ذات هواء غير مستقر (شحادة، ١٩٩١).

شكل (٨٠) التوزيع الشهري للبرد في المرتفعات الجبلية الأردنية



ويتبين من تحليل سقوط البرد في مطار اللد ان اكثر من ١١٠ حالة من حالات سقوط البرد التي حدثت خلال في الفترة بين ١٩٤٥-١٩٦٤ كانت مركزة في الشتاء وان ٦٠ حالة منها قد تركزت في شهر فبراير وحده (جدول ١٣).

جدول (١٣)التوزيع الشهري للبرد في مطار اللد

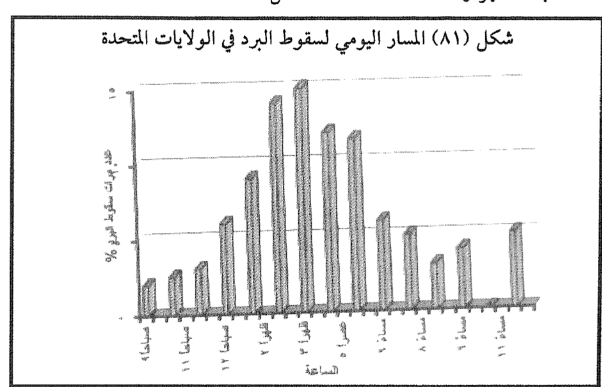
الشهر	ك٢	شباط	آذار	نيسان	أيار	ت١	ت٢	ك١	السنة
عدد مرات البرد	٢٨	٦٠	٢٠	٥	٠	٠	٩	٢٢	١٤٤
عدد الأيام البردية	١٦	٢٨	١٤	٤	٠	٠	٥	١٢	٧٩

وقد وجد ظاهر أن ٥٢٪ من أيام سقوط البرد في المرتفعات الجبلية الأردنية تتركز خلال فصل الشتاء، خاصة خلال شهر شباط الذي يحدث فيه وحده ٢٩٪ من أيام سقوط البرد (ظاهر، ١٩٩٣).

(٢-٣) المسار اليومي للبرد:

يغلب سقوط البرد بعد الظهر، لا سيما ان حرارة سطح الأرض تكون قد بلغت أقصاها والتيارات الهوائية الصاعدة على أشدها. فقد وجد أن أكثر من ٦٠٪ من العواصف البردية التي تعرض لها وسط الولايات المتحدة قد حدثت بين الساعة الثالثة بعد الظهر والساعة التاسعة مساء (شكل ٨١).

شكل (٨١) المسار اليومي لسقوط البرد في الولايات المتحدة



الفصل العاشر

الثلج

يتكون الثلج في بعض السحب الطبقية المتوسطة أو المزن الطبقي عندما تنخفض حرارتها إلى درجة التجمد. ويحدث ذلك عادة نتيجة لتكاثف جزء من بخار الماء الموجود في تلك السحب على شكل بلورات جليدية رقيقة، تنمو عن طريق الاتحاد فيما بينها وتكاثف بعض قطيرات الماء البارد عليها.

يسقط الثلج على شكل شرائح رقيقة، لا يزيد قطر الواحدة منها عن ٢,٥ سم ويشترط عند سقوطه انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون ٤ م. وكلما كانت درجة الحرارة اكثر انخفاضا، ازداد احتمال هطول الثلج. ولهذا فان العواصف الثلجية في المناطق المعتدلة تقترن دائما بوصول جبهات هوائية شديدة البرودة.

(١) التوزيع الجغرافي للثلج

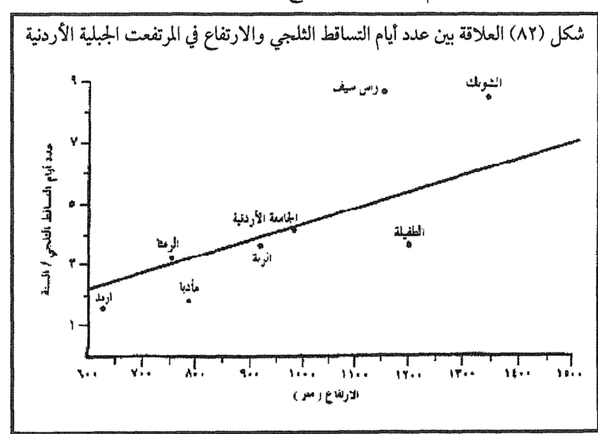
لا يسقط الثلج في المناطق المدارية إلا نادرا، إلا أنه يعد ظاهرة مألوفة في المناطق الباردة والمعتدلة، لا سيما خلال فصل الشتاء. وتزداد نسبة سقوطه زيادة كبيرة كلما ابتعدنا عن خط الاستواء باتجاه الشمال أو الجنوب، بحيث تصل في المناطق الواقعة بعد خط عرض ٤٠ ـ لا سيما في المناطق الجبلية التي يزيد ارتفاعها عن ٣٥٠٠ متر ـ إلى ٩٨٪ من المجموع الكلي للهطول.

(٢) خط الثلج الدائم

توجد بين نسبة سقوط الثلج والارتفاع علاقة طردية قوية، فكلما زاد الارتفاع ازدادت نسبة السقوط الثلجي، كما تزداد نسبة بقاء الثلج على سطح الأرض

(شكل ٨٢). ويمكن تعريف المستوى الذي يبقى بعده الثلج موجودا طول العام بخط الثلج الدائم. وهو يختلف من مكان لآخر تبعا لعدد من العوامل الرئيسة مثل درجة العرض، وغزارة الأمطار، والتوزيع الفصلي لها، ومواجهة الرياح، واتجاه السفوح الجبلية. فإذا كان خط الثلج الدائم يقع على مستوى ٤٧٠٠متر في المنطقة الاستوائية، فإنه يقع على مستوى أقل من ٥٠٠ متر في المناطق الواقعة بين درجتي عرض ٧٠ -٨٠ شمالا، وهو أخفض في المناطق غزيرة الأمطار، أو التي تسقط معظم أمطارها شتاء، وعلى السفوح الشمالية المحجوبة عن أشعة الشمس المباشرة.

وتزداد مدة بقاء الغطاء الثلجي على سطح الأرض، كلما ازداد الارتفاع. وقد بينت بعض الدراسات السابقة أن مدة بقاء الغطاء الثلجي على سفوح جبال الألب تزداد عشرة أيام كلما ازداد الارتفاع ١٠٠متر.



شكل (٨٢) العلاقة بين عدد أيام التساقط الثلجي والارتفاع في المرتفعت الجبلية الأردنية

(٣) آثار الثلج

(٣-١) الآثار الإيجابية

للثلج بعض الآثار الإيجابية، وبعض الآثار السلبية، ومن أهم آثاره الإيجابية ما يأتي:

١- حفظ التربة من التجمد: يشكل الثلج غطاء يقي التربة من التجمد، لأنه يمنع الإشعاع الأرضي من الهروب ويبقيه قريبا من التربة. ويعتبر الثلج غطاء كافيا يقي التربة من التجمد إذا بلغ سمكه فوق سطح التربة ٢٤سم على الأقل. أما إذا قل سمكه عن ذلك، فإن تأثيره يكون محدودا.

٢-يشكل الثلج مصدرا رئيسا لتغذية الأنهار في المناطق المعتدلة، بل إن أكثر من نصف الصبيب النهري في غرب الولايات المتحدة ناتج عن ذوبان الثلوج.

٣-يعد الثلج مصدرا لرطوبة التربة، فالثلج في المناطق التي يكثر تعرضها له، مثل سهول كندا وشمالي الولايات المتحدة، يشكل مصدرا رئيسا لرطوبة التربة، وعلى كمياته يتوقف نجاح زراعة القمح في السنوات التي تقل فيها الأمطار عن المعدل.

٤-يساعد تكون غطاء ثلجي سميك في بعض المناطق الباردة، على انتعاش سياحة التزحلق على الجليد، وغيرها من فنون الرياضة الشتوية. ويقدر عدد المنتجعات الشتوية التي تمارس فيها أنواع شتى من الرياضة الشتوية في الولايات المتحدة وحدها بأكثر من ١٢٠٠ منتجع من أشهرها منتجع (Snow Mass) في اسبين (Aspen) بولاية كولارادو ومنتجع جاكسون (Jackson) في ولاية ويومنج وسان مورتيز السويسرية.

(٣-٢) الآثار السلبية

للثلج آثار سلبية على كثير من النشاطات البشرية مثل الزراعة و المواصلات والصناعة وغيرها. وتزداد تلك الآثار وتصبح مضاعفة في المناطق التي يندر تعرضها لسقوط الثلج. أما المناطق الأخرى التي يكثر تعرضها للثلوج، فإن الاحتياطات العديدة التي تتخذ فيها دائما، تقلل من الآثار السلبية لسقوط الثلج.

(٤) أثر المدن على الثلج

نظرا للجزيرة الحرارية للمدن الكبيرة، فإن نسبة الهطول الثلجي فيها اقل منها في المناطق الريفية المجاورة، كما أنها أقل في قلب المدينة منها في الضواحي. فقد تبين من دراسة نسبة السطوح المغطاة بالثلج في مدينة لوند (Lund) السويدية، أنها ترتفع من ٣٠٪ في وسط المدينة إلى ٨٠٪ عند الأطراف

حالة دراسية بعض الآثار السلبية للعواصف الثلجية التي تعرض لها الأردن في شتاء (١٩٩١ - ١٩٩٢)

تعرض الأردن خلال شتاء ١٩٩١/ ١٩٩٢ إلى عدد كبير من العواصف الثلجية يفوق المعدل العام للعواصف الثلجية التي تتعرض لها البلاد سنويا. فقد تعرضت المناطق الجبلية التي يزيد ارتفاعها عن ٦٠٠ متر خلال ذلك الموسم إلى سبع عواصف ثلجية قوية تركز أربع منها في شهر فبراير وحده، حيث زاد عدد أيام التساقط الثلجي خلاله عن ١١ يوما.

ومن الظروف السينوبتيكية التي ساعدت على حدوث تلك العواصف هي تعرض الحوض الشرقي للبحر المتوسط إلى عدد من الكتل الهوائية القطبية شديدة البرودة وتكون مرتفع جوي حاجز (Blocking Anticyclone) فوق الحوض الغربي للبحر المتوسط، مما أدى إلى توجيه الكتل القطبية الباردة القادمة من شمال وشرق أوروبة نحو منطقة البحر الأدرياتيكي وبحر إيجه، وهي المنطقة الرئيسة لتكون المنخفضات الجوية التي تصل إلى الحوض الشرقي للبحر المتوسط. كان يسود في طبقات الجو العليا خلال تلك العواصف حوض علوي بارد (Upper Trough) مما هيأ الفرصة لتكون عدد كبير من المنخفضات الجوية التي زاد عدد الذي وصل منها إلى الحوض الشرقي للبحر المتوسط وأثر على مناخ الأردن على ٢٥ منخفضا. وقد ساعدت تلك الظروف على جعل المنخفضات الجوية التي صاحبت تلك العواصف منخفضات عميقة وذات جبهات متعددة (الجهني،١٩٩٤).

تساقطت الثلوج خلال تلك العواصف بغزارة شديدة، وامتد تساقطها ليشمل كل المناطق التي يزيد منسوبها عن ٦٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر. ووصل ارتفاع الثلوج المتراكمة فوق بعض المناطق إلى أكثر من مترين. كما بلغت سرعة بعض هبات الرياح التي كانت ترافق تلك العواصف إلى ١٢٠كم/ الساعة. وتدنت درجة الحرارة دون معدلها العام بحوالي ٦ م. تكرر حدوث الصقيع لعدة ليال متعاقبة، ومما ساعد على حدوثه بالإضافة إلى البرودة الشديدة للهواء القطبي الذي كان يتدفق باستمرار إلى المنطقة هو تراكم الثلوج على سطح الأرض.

ألحقت تلك العواصف ـ وما رافقها من صقيع ـ خسائر فادحة في القطاع الزراعي، وفي قطاعات متعددة أخرى شملت خسائر في الأرواح، وحدوث إنزلاقات أرضية كثيرة، وانجراف التربة من مناطق واسعة، وتدمير بعض المنشآت الزراعية والطرق، وموت أعداد كبيرة من الماشية، وتدمير كثير من البيوت البلاستيكية في وادي الأردن. وقد أغلقت العديد من الطرق بسبب تراكم الثلوج، وانهيار عدد من الجسور وحدوث انهيارات أرضية على الطرق نفسها، وتوقفت الدراسة في المدارس وعطلت الدوائر الحكومية والشركات الخاصة وغيرها.

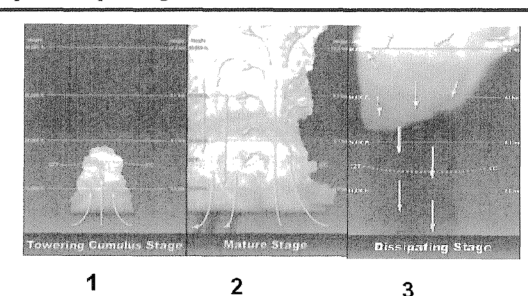
نشاطات الفصلين التاسع والعاشر

النشاط الأول: تتسبب بعض الظواهر المناخية كالبرد والصقيع والجفاف والأمطار الزيرة وغيرها بإلحاق خسائر مادية كبيرة بالأرواح والممتلكات. المطلوب هو الرجوع إلى موقع دائرة الأرصاد الجوية الأردنية على شبكة الانترنيت وهو:

والاستفادة منه في كتابة تقرير عن الكوارث التي يسببها الطقس في العالم من جهة عامة وفي الأردن خاصة.

النشاط الثاني: تمر أية عاصفة رعدية أثناء تطورها في ثلاثة مراحل هي مرحلة النمو ومرحلة النضج ثم مرحلة التلاشي (الشكل التالي). المطلوب الرجوع الى الموقع التالي على شبكة الانترنيت وكتابة تقرير علمي عن هذه المراحل الثلاثة.

http://en.wikipedia.org/wiki/Thunderstorm





الوحدة الثانية

المناخ السينوبتيكي

الوحدة الثانية

المناخ السينوبتيكي

المخرجات التعليمية للوحدة الثالثة

يتوقع أن يكون الطالب قادرا بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة على القيام بما يلي:

١- يحلل الظروف السينوبتيكية المرافقة لنشوء الكتل الهوائية وتكون المنخفضات الجوية والجبهات الهوائية.

٢- يوضح العلاقة بين حالة الجو في الطبقات العليا وتكون المنخفضات الجوية والأعاصير المدارية.

٣- يفسر الأبعاد الاقليمية للمنخفضات الجوية.

٤- يحلل الظروف السينوبتيكية المرافقة لتكون الاعاصير المدارية.

٥- يميز بين العواصف والأعاصير المدارية.

٦- يحلل الأبعاد الاقليمية لاعاصير الهاريكن والعواصف المدارية وأعاصير التيفون.

٧- يحلل الظروف السينوبتيكية المرافقة لتكون أعاصير التورنادو ويقيم اثارها البيئية.

٨- يقيم الآثار البيئية الناجمة عن أعاصير الهاريكين والأعاصير المدارية وأعاصير التورنادو.

٩- يثمن الجهود المبذولة للتقليل من الآثار البيئية السلبية لأعاصير الهاريكين وغيرها.

١٠- يستخدم التكنولوجيا بكفائة في البحث عن المعلومات الخاصة بموضوعات هذه الوحدة.

١١- يساهم بشكل فعال في العمل الجماعي والتعلم التعاوني من خلال مجموعات التركيز والنقاشات الصفية وغيرها.

١٢- يستخدم التكنولوجيا بكفائة في عرض التكليفات التي يقوم بها.

١٣- يقدم التكليفات التي يقوم بها في قاعة الدراسة بلغة سليمة وأسلوب سلس ويتناقش مع زملائه، ويؤمن بالرأي الآخر.

الفصل الحادي عشر

الكتل الهوائية

تُعَّرف الكتلة الهوائية (Air mass) بأنها كتلة ضخمة من هواء ذي خصائص مناخية متجانسة لا سيما من حيث درجة الحرارة، والرطوبة، ومعدل تناقص درجة الحرارة بالارتفاع ومدى الرؤية وغيرها. ويظهر التجانس في خصائص الكتلة الهوائية بشكل أكثر وضوحاً في الطبقات العليا منه في الطبقة السفلى التي تتأثر أكثر من غيرها بالاختلافات المحلية للسطح.

(١) مواطن نشأة الكتل الهوائية

تستمد الكتل الهوائية خصائصها الرئيسة من خصائص السطح الذي تتكون عليه، ولذا، فلا بد أن تتوفر في مواطن نشأة تلك الكتل بعض الشروط الخاصة التي تميزها عن غيرها من المناطق. وأهم تلك الشروط، أن يكون سطحها واسعاً ومتجانساً، وأن تكون منطقة ضغط مرتفع، حتى يستقر الهواء فيها مدة طويلة تكفي لأن يكتسب خصائصها. ولذا، فإن المناطق الجبلية الوعرة، والأحواض الطبوغرافية الصغيرة، والمناطق الساحلية، لا تصلح لنشأة الكتل الهوائية. أما المسطحات المائية الكبيرة، والمناطق السهلية المنبسطة، فهي أفضل الأماكن. كما تعد مناطق الضغط المرتفع، أو مناطق تفرق الهواء أماكن مناسبة، لا سيما وأنها تمتاز بتيارات هوائية هابطة، ورياح خفيفة وأجواء مستقرة. ولا تصلح مناطق تجمع الرياح لنشأة الكتل الهوائية، لما ينجذب لها من رياح ذات خصائص مختلفة، وللنشاط الشديد للتيارات الهوائية الصاعدة الذي تشهده خلال النهار.

ولهذا فإن أفضل الأماكن ملاءمة لنشأة الكتل الهوائية هي المسطحات المائية الواقعة في مناطق الضغط المداري المرتفع، والمناطق القطبية، ومناطق الضغط المرتفع الرئيسة فوق اليابسة خلال فصل الشتاء مثل شمال سيبيريا وشمال كندا.

(٢) تصنيف الكتل الهوائية

تصنف الكتل الهوائية تبعاً لمناطق نشأتها إلى مجموعتين رئيسيتين هما: الكتل القطبية (Polar air masses)، ويرمز لها بالرمز (P)، وهي الكتل التي تنشأ في المناطق القطبية، والكتل المدارية (Tropical air masses)، ويرمز لها بالرمز (T) وهي التي تنشأ في مناطق الضغط المداري المرتفع.

وتُصنَّف الكتل الهوائية ضمن كل مجموعة من المجموعتين السابقتين إلى صنفين رئيسين تبعاً لطبيعة سطح المنطقة التي تنشأ فيها، وهما: الكتل القارية (continental air masses) والكتل البحرية (maritime air masses).

ولهذا فان بالإمكان تصنيف الكتل الهوائية إلى أربعة أصناف رئيسة، هي:

١- كتل قطبية قارية (**continental polar air masses**) ويرمز لها بالرمز (cP). وهي الكتل التي تنشأ فوق الأجزاء القارية من المناطق القطبية مثل شمالي سيبيريا.

٢- كتل قطبية بحرية (**maritime polar air masses**) ويرمز لها بالرمز (mP)، وتشمل الكتل التي تنشأ فوق المسطحات المائية القطبية مثل المحيط المتجمد الشمالي، والأجزاء الشمالية من المحيطين الأطلسي والهادي.

٣- كتل مدارية قارية (**continental tropical air masses**) ويرمز لها بالرمز (cT). ومن أبرز الأمثلة عليها الكتل المدارية التي تتكون فوق شمال افريقيا.

٤- كتل مدارية بحرية (**maritime tropical air masses**) ويرمز لها بالرمز (mT) وتشمل الكتل التي تنشأ في منطقة الضغط الآزوري المرتفع في المحيط الأطلسي.

وتصنف الكتل الهوائية تبعاً لاختلاف درجة حرارتها عن درجة حرارة السطح الذي تصل إليه إلى كتل باردة وأخرى دافئة. أما الكتل الباردة، فيرمز لها بالرمز (K) وتشمل الكتل التي تقل درجة حرارتها عن درجة حرارة السطح الذي تتحرك عليه. أما الكتل الدافئة ـ ويرمز لها بالرمز (w)، فهي التي تزيد درجة حرارتها على درجة حرارة السطح الذي تتحرك عليه. وبهذا يصبح رمز الكتل القطبية القارية الباردة هو (cPk) ورمز الكتل المدارية البحرية الدافئة هو (mTw). ويمكن التمييز بين الكتل المستقرة والكتل غير المستقرة بإضافة الرمز (s) للكتل المستقرة، والرمز (u) للكتل غير المستقرة.

(٣) تصنيف المناطق تبعاً لطبيعة تأثرها بالكتل الهوائية

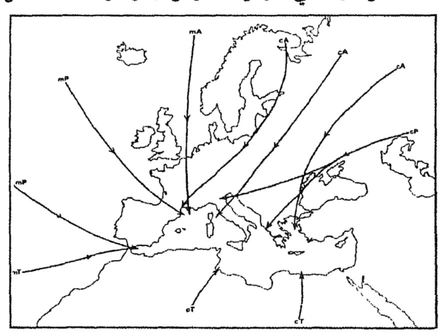
تُصنّف المناطق من حيث طبيعة تأثرها بالكتل الهوائية إلى ثلاث فئات رئيسة هي:

١- مناطق تتأثر طوال العام بنوع واحد من الكتل الهوائية، وهي مواطن نشأة الكتل الهوائية مثل شمالي سيبيريا، وشمالي كندا اللذين يعدان أهم مركزين لنشأة الكتل القطبية القارية.

٢- مناطق تتأثر بنوعين من الكتل الهوائية، يسود أحدهما في فصل ويسود النوع الثاني في الفصل الآخر مثل جنوبي شرقي آسيا الذي يتعرض إلى كتل موسمية بحرية في الصيف وقارية في الشتاء.

٣- مناطق تتصارع فيها كتل هوائية متعددة ومتنوعة مثل غربي أوروبة الذي يتعرض على مدار العام لأنواع متعددة من الكتل الهوائية، مما يجعل الطقس فيها شديد التقلب من يوم لآخر، ومثل حوض البحر المتوسط الذي يتعرض خلال فصل الشتاء لعدد كبير من الكتل الهوائية المتنوعة مثل الكتل القطبية القارية (cPk)القادمة من شمال أوروبة، والكتل المدارية القارية (cTw) القادمة من شمالي أفريقيا، وغيرها (شكل٨٣).

شكل (٨٣) الكتل الهوائية التي يتعرض لها حوض البحر المتوسط خلال فصل الشتاء



(٤) تعديل الكتل الهوائية:

لا تبقى الكتل الهوائية محصورة في مواطن نشأتها، بل تغادرها إلى مناطق أخرى تبعا لأي تغير في التوزيع الجغرافي للضغط الجوي في المناطق المحيطة. وأثناء حركتها، فإنها تؤثر على حالة الطقس في جميع المناطق التي تمر عليها، وتنقل إليها خصائص المنطقة التي نشأت فيها. فإذا تعرضت منطقة معتدلة كغربي أوروبه خلال فصل الشتاء إلى كتلة قطبية باردة قادمة من شمالي سيبيريا، فإن درجة حرارتها تنخفض انخفاضاً حاداً. أما إذا تعرضت لكتلة مدارية دافئة، فإن درجة حرارتها ترتفع ثانية. وعندما تصل إلى منطقة الخليج العربي خلال فصل الصيف كتلة مدارية بحرية شديدة الحرارة والرطوبة قادمة من بحر العرب والمحيط الهندي، فإن درجة الحرارة ترتفع في كل منطقة الخليج بشكل كبير جداً، كما ترتفع الرطوبة النسبية حتى في المناطق الداخلية البعيدة عن التأثيرات البحرية كمدينة العين. وعندما تصل تلك الكتل إلى الحوض الشرقي للبحر المتوسط، فإنها تتسبب في موجات حر غير مألوفة وتتسبب أحياناً في حدوث وفيات وأضرار أخرى كثيرة (شحادة، ١٩٩٠).

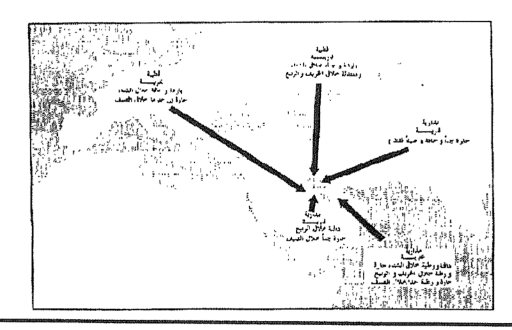
والكتل الهوائية أثناء حركتها على سطح الأرض لا تنقل إلى المناطق التي تمر عليها خصائصها المناخية فقط، بل ان الطبقة السفلى من الكتلة تتأثر بالخصائص المناخية للمناطق التي تمر عليها. فالكتل الجافة تكتسب ـ إذا مرت مسافة طويلة فوق مسطح مائي ـ قدراً من الرطوبة بحيث تؤدي في كثير من الأحيان إلى سقوط الأمطار. فالكتل القطبية القارية التي يتعرض لها الحوض الشرقي للبحر المتوسط هي في الأصل كتل جافة، لأنها تكونت فوق مناطق قارية، لكنها تكتسب مزيداً من الرطوبة أثناء مسارها فوق مياه البحر المتوسط الدافئة، مما يجعلها المصدر الرئيس للأمطار في الحوض الشرقي للبحر المتوسط.

وإذا مرت كتلة باردة ذات أصل قطبي مسافة طويلة فوق مناطق دافئة، فإنها تفقد أثناء مسارها كثيراً من برودتها وتكتسب من المناطق الدافئة التي مرت عليها مزيداً من الدفء. فالكتل النادرة ذات الأصل القطبي التي تتعرض لها منطقة الخليج أحياناً والمبينة في شكل (٨٤) تختلف في خصائصها المناخية عن الكتل القطبية التي

يتعرض لها غرب أوروبه أو حوض البحر المتوسط، بل يصعب التعرف على أصل تلك الكتل من تحليل خصائصها فحسب، لأنها تكون قد فقدت معظم خصائصها الأصلية أثناء مسارها الطويل (الكليب، ١٩٩٠).

وتعتمد طبيعة التعديلات التي تطرأ على الكتلة الهوائية أثناء حركتها على عدة عوامل أهمها حجم الكتلة، واتساع مساحتها، وتجمع الهواء أو تفرقه. فالكتل الهوائية الواقعة ضمن مناطق تجمع الرياح تفقد خصائصها الرئيسية بسرعة.

شكل (٨٤) مصادر الكتل الهوائية التي تغزو منطقة الخليج العربي خلال فصول السنة المختلفة



(٥) خصائص الكتل الهوائية:

يستحسن عند دراسة الكتل الهوائية أن نصنفها إلى كتل باردة وأخرى دافئة، أما الكتل الباردة فأهم مناطق نشأتها في النصف الشمالي هي المناطق التي تتجمد في فصل الشتاء مثل شمالي كندا وجرينلاندة وسيبيريا. وأبرز خصائص هذه الكتل هي:

١- شدة البرودة لا سيما في الشتاء.

٢- قلة الرطوبة الناتجة عن انخفاض درجة حرارة الهواء وتجمد السطح.

٣- انعكاس حراري عميق يسود في مواطن نشأتها.

٤- انخفاض نسبة تغيم السماء.

٥- قلة الهطول، وإذا حدث فإنه يكون على هيئة زخات ثلج قوية.

٦- تطور حالة من عدم الاستقرار في الطبقة السفلى من الكتلة فور تحركها خارج موطن نشأتها.

وأفضل المناطق لنشأة الكتل الدافئة هي مناطق الضغط المداري المرتفع،كما تصبح أواسط القارات في فصل الصيف مواطن مفضلة لنشأة هذه الكتل. وأبرز مميزات الكتل المدارية البحرية هي أنها كتل دافئة رطبة مستقرة. ولهذا فان أهم ظواهر التكاثف التي ترافقها هي الضباب والندى. فإذا كانت الرياح سريعة يتكون الضباب. أما إذا كانت هادئة يتكون الندى. كما تظهر السحب الطبقية أحيانا وتسقط بعض الأمطار الخفيفة المتقطعة.

أما أبرز خصائص الكتل المدارية القارية فهي كونها كتل دافئة جافة في الشتاء وحارة جافة في الصيف، لا سيما وأن شمالي أفريقيا هي المنطقة الرئيسية الوحيدة لتكونها. ويرجع السبب في جفافها إلى هبوط الهواء من طبقات الجو العليا في المناطق المدارية ذات الضغط الجوي المرتفع مثل شمالي أفريقيا. وهي كتل مستقرة في الشتاء وغير مستقرة في الصيف، ويرافق وصولها حدوث بعض الزوابع الترابية.

الفصل الثاني عشر

المنخفضات الجوية

عندما تلتقي كتلتان من الهواء إحداهما باردة، والأخرى دافئة، فانهما لا تمتزجان بسهولة، بل تحتفظ كل منهما بخصائصها، ويتكون بينهما سطح يعرف اصطلاحياً بالجبهة الهوائية (Air Front). فالجبهات إذن هي عبارة عن سطوح تفصل بين أنواع مختلفة من الكتل الهوائية، وتمتاز بالتدرج السريع لدرجة الحرارة ولكثافة الهواء والرطوبة النسبية.

وعلى الرغم من أن الجبهات تظهر على خرائط الطقس على شكل خطوط إلا أنها في الواقع عبارة عن سطوح جوية تمتد من سطح الأرض إلى الأعلى لتفصل بين الكتل الهوائية. ونتيجة للحركة الدورانية للأرض، فإن سطوح الجبهات هي - في العادة - سطوح مائلة، وتزداد درجة ميلها كلما ابتعدنا عن خط الاستواء. ويتراوح معدل اتساع الجبهة على سطح الأرض بين ١٠٠-٢٠٠كم.

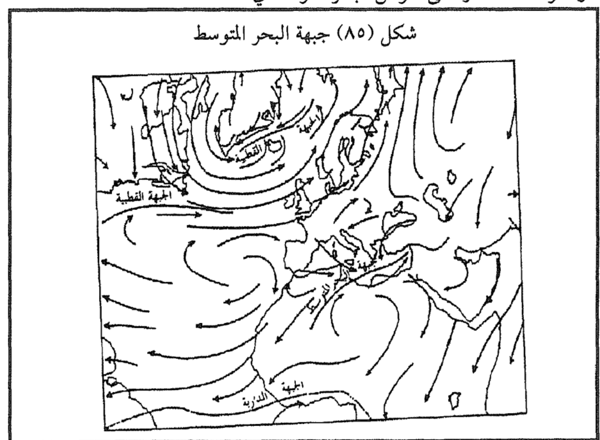
ومما لا شك فيه، وجود علاقة قوية بين تكون الجبهات ومواقع التيارات النفاثة فأقوى الجبهات الجوية هي التي تقع أسفل تيار نفاث، لا سيما إذا كان موقعها أسفل جزء معين من مسار التيار يعرف بالقاع (Trough)، وهو الجزء الذي تزداد فيه الحركة الإعصارية للتيار النفاث.

(١) النطاقات الرئيسة للجبهات

ذكرنا في بداية هذا الفصل أن الجبهات الجوية تتكون نتيجة التقاء كتل هوائية ذات خصائص مختلفة. ولهذا فإن أكثر جهات العالم التي تتكون فيها الجبهات، هي المناطق الباردة والمعتدلة، حيث تلتقي الكتل الهوائية المدارية مع الكتل القطبية

باستمرار مكونة ما يعرف بالجبهة القطبية (Polar Front)، وهي الجبهة التي يتكون عليها معظم المنخفضات الجوية التي تتعرض لها تلك المناطق.

والجبهة القطبية ليست جبهة متصلة، بل إنها تتقطع في المناطق التي يقل فيها الفرق بين خصائص الكتل المدارية والقطبية. وأبرز أجزاء الجبهة القطبية هي جبهة المحيط الأطلسي وجبهة المحيط الهادئ، وهما الجبهتان اللتان تقعان في الأجزاء الشمالية من المحيطين الأطلسي والهادئ. وتظهر في فصل الشتاء جبهة أخرى في البحر المتوسط تفصل بين الكتل الهوائية الباردة في شمالي أوروبة والكتل الدافئة فوق البحر المتوسط وشمالي أفريقيا وتعرف بجبهة البحر المتوسط (شكل ٨٥). وعلى طول جبهة المتوسط يتكون اغلب المنخفضات الجوية التي تؤدي إلى اضطراب الجو وسقوط الأمطار على حوض البحر المتوسط في الشتاء.



شكل (٨٥) جبهة البحر المتوسط

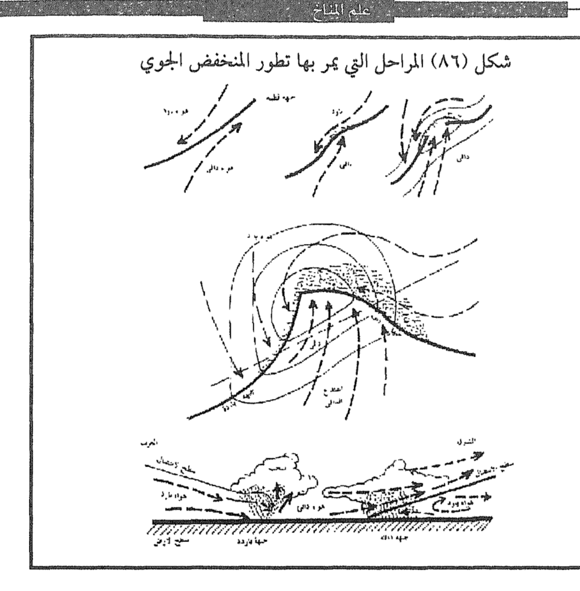
ويلاحظ أن موقع الجبهة القطبية يتزحزح شمالاً وجنوباً تبعاً لحركة الشمس الظاهرية وزحزحة أقاليم الضغط الجوي والنطاقات الرئيسة للرياح، فالجبهة

القطبية تمتد في الشتاء حتى سواحل البحر المتوسط بينما تنكمش في الصيف شمالاً. ومن الجبهات الرئيسة الأخرى في النصف الشمالي الجبهة القطبية الشمالية (Arctic Front) التي تتكون قرب الدائرة القطبية الشمالية نتيجة للاختلافات في درجة الحرارة بين المسطحات المائية الشمالية واليابسة. ومن أبرز أجزاء هذه الجبهة هي الجبهة الكندية والجبهة الأطلسية في شمالي أوروبة التي تتكون عليها معظم المنخفضات الجوية التي يتعرض لها شمالي أوروبة.

(٢) المنخفضات الجوية (نموذج بيركنز):

إن السبب الرئيس لنشأة المنخفضات الجوية هو التقاء كتل هوائية ذات خصائص مناخية مختلفة، وتكّون جبهات هوائية تفصل بينها. تبدأ المرحلة الأولى لتكون المنخفض الجوي عندما يندفع الهواء الدافئ إلى أعلى فوق سطح الهواء البارد مكونا جبهة جوية تفصل بين الكتلة الباردة والدافئة. ويتطور المنخفض الجوي نتيجة استمرار الهواء الدافئ في الارتفاع فوق الهواء البارد على هيئة موجات متعاقبة ذات حركة إعصارية قوية.

يمر تطور المنخفض - بعد ذلك - في مراحل نمو متعاقبة حتى يصل مرحلة النضج، وهي المرحلة التي يبلغ تأثيره خلالها أشده، ثم يأخذ -بعد ذلك- في الضعف إلى أن يموت ويتلاشى. يحصل ذلك بعد أن يتمكن الهواء البارد من القضاء على الهواء الدافئ ورفعه إلى أعلى (شكل ٨٦).



شكل (٨٦) المراحل التي يمر بها تطور المنخفض الجوي

يستمد المنخفض الجوي طاقته من تحول طاقة الوضع التي تنشأ نتيجة وجود تدرج كبير لدرجة الحرارة وكثافة الهواء على طول الجبهة الجوية المصاحبة له إلى طاقة حركية. ويتراوح عمر المنخفضات الجوية في العادة بين أربعة إلى خمسة أيام يكون الجو فيها مضطرباً وتسقط الأمطار على المنطقة التي تتأثر بالمنخفض والتي يتراوح قطرها في العادة بين ٢٠٠ – ١٠٠٠كم.

تتجزأ الجبهة المصاحبة للمنخفض بفعل الحركة الإعصارية للرياح إلى جبهتين متميزتين، واحدة باردة (Cold Front) والأخرى دافئة (Warm Front). تتحدد الجبهة الدافئة بالمنطقة التي يتقدم فيها الهواء الدافئ نحو الهواء البارد. أما الجبهة الباردة فتقترن بتقدم الهواء البارد وسط القطاع الدافئ (Warm Front).

وبما أن المنخفضات الجوية تقع في نطاق الرياح الغربية فإنها تتحرك - في العادة - من الغرب إلى الشرق، وان كانت مساراتها تنحرف أحياناً باتجاه الشمال الشرقي (شكل ٧٢).

وكما هو موضح في شكل (٧١) الذي سبقت الإشارة إليه، فإن وصول الجبهة الدافئة يسبق وصول الجبهة الباردة، إلا أن سرعة الجبهة الباردة تزيد على سرعة الجبهة الدافئة بكثير، مما يجعلها تلحق بها في النهاية، ويتكون ـ عندئذ ـ جبهة ممتلئة (Occluded Front). وعندها يكون المنخفض الجوي قد وصل مرحلة الامتلاء (Occulusion).

ومما لا شك فيه، أن الظواهر الجوية المرافقة للجبهة الباردة أقوى من التي ترافق الجبهة الدافئة، خاصة وأن درجة انحدار سطح الجبهة الباردة أكثر من درجة انحدار الجبهة الدافئة، كما أنها أقل اتساعاً والتدرج في درجة الحرارة وكثافة الهواء فيها أقوى.

(٣) الظواهر الجوية المرافقة للمنخفضات الجوية

أبرز الظواهر الجوية التي ترافق وصول المنخفض الجوي إلى الحوض الشرقي للبحر المتوسط هي تناقص الضغط الجوي وظهور سحب السمحاق الطبقي مؤذنة باقتراب وصول الجبهة الدافئة. وعندما تصبح الجبهة الدافئة قريبة من المكان، فان مستوى السحب ينخفض، وتظهر في السماء سحب طبقية متوسطة. وعندما يصبح المنخفض على بعد ٣٠٠كم أو أقل تسقط أمطار خفيفة ومتقطعة ثم تتحول بعد فترة إلى أمطار غزيرة ومتصلة، وتزداد السحب انخفاضاً حتى يقل ارتفاعها عن ٥٠٠.

أما عندما تمر الجبهة الدافئة، فإن الرياح تتحول من جنوبية أو جنوبية شرقية إلى جنوبية غربية، ويطرأ ارتفاع على درجة الحرارة، ويتلاشى الضباب، وتنقشع الغيوم ويتوقف هطول الأمطار. وعندما تقترب الجبهة الباردة ينخفض الضغط الجوي سريعاً وتظهر في السماء بعض السحب العالية والمتوسطة، ثم تحل محلها سحب ركامية ومزن ركامي سميك. وعندما تصل الجبهة الباردة تتحول الرياح إلى شمالية، أو شمالية غربية.

(٤-٢) المنخفضات الجوية المتوسطية

يصبح حوض البحر المتوسط في فصل الشتاء منطقة مفضلة لتكوُن المنخفضات الجوية وتطورها (Cyclogenesis Area). حيث تقدر دائرة الأرصاد الجوية البريطانية المعدل السنوي لعدد المنخفضات الجوية التي تتكون فيه بستة وسبعين منخفضاً. ويلاحظ أن الجزء الأكبر من تلك المنخفضات يتكون في الحوض الغربي وجنوبي جبال أطلس. ونظراً لتأثر تلك المنخفضات بعد تكونها بالاتجاه العام للرياح في الطبقة العليا من التروبوسفير، فإن معظمها يتحرك في اتجاه شرقي أو شمالي شرقي. وهي في أثناء حركتها تؤثر على حالة الطقس في المناطق الواقعة في حوض البحر المتوسط، ويمتد تأثير بعضها إلى شمالي الجزيرة العربية وإلى منطقة الخليج العربي أحياناً.

ونظراً للدور البالغ الأهمية الذي تلعبه المنخفضات الجوية في مناخ منطقة البحر المتوسط وما للأمطار التي تجلبها من تأثير كبير على الحياة الاقتصادية والاجتماعية في تلك المنطقة، فإننا سنفصل في دراسة وتحليل الخصائص التالية لتلك المنخفضات:

١- مناطق نشأتها وسبب تكونها.

٢- مساراتها العامة.

٣- مناطق تمركزها.

(٤-١) مواطن نشأة المنخفضات الجوية في حوض البحر المتوسط

بالرغم من كون البحر المتوسط منطقة مفضلة لتكون المنخفضات الجوية خاصة خلال فصل الشتاء، إلا أن بعض مناطقه أكثر ملائمة من غيرها لتكونها. وأهم تلك المناطق هي خليج جنوه الذي يتكون فيه وحده اثنان وخمسون منخفضاً في السنة، أو ما يعادل ٦٩ ٪ من مجموع المنخفضات التي تتكون في حوض البحر المتوسط بأكمله.
أما المنطقة الرئيسية الثانية فهي السفوح الجنوبية لجبال أطلس، حيث يتكون قرابة الأربعة عشر منخفضاً أو ما يعادل ١٨ ٪ من مجموع المنخفضات التي تتكون في حوض البحر المتوسط بأكمله. وتعرف المنخفضات التي تتكون على سفوح جبال

أطلس بالمنخفضات الخماسينية لأنه يغلب تكونها في فصل الربيع خاصة في الخمسين يوماً الأولى التي تعقب الاعتدال الربيعي مباشرة. ويكثر تكون المنخفضات الخماسينية في تلك الفترة لأن حرارة مياه البحر المتوسط تكون وقتئذ أقل من حرارة اليابسة، كما أن موقع جبهة المتوسط (Mediterranean Front) التي تنشأ عليها معظم المنخفضات يكون قد تزحزح نحو الجزء الغربي من الصحراء الكبرى.

لا يزيد عدد المنخفضات الجوية التي تتكون في الحوضين الشرقي والأوسط للبحر المتوسط على ثلاثة منخفضات في السنة، أي ما نسبته ٤ ٪ من مجموع المنخفضات الجوية التي تتكون في حوض البحر المتوسط بأكمله. وعلى الرغم من أن المنخفضات الجوية لا تتكون كثيراً في الحوض الشرقي للبحر المتوسط، إلا أنها تتمركز لمدة يومين أو ثلاثة أيام في بعض مناطقه مثل جزيرة قبرص.كما أن بعض المنخفضات التي تكون قد ضعفت قبل وصولها الحوض الشرقي وأصبحت منخفضات ضحلة، تبعث إلى الحياة من جديد(Rejuvenation). ويؤدي تدفق الهواء القطبي البارد إلى تعمقها، خاصة إذا كان ذلك مقترناً في طبقات الجو العليا بتكون حوض بارد (Trough) يجذب إلى المنطقة مزيداً من الكتل الهوائية الباردة.

وتقدر دائرة الأرصاد الجوية البريطانية المنخفضات الجوية التي يتعرض لها الحوض الشرقي للبحر المتوسط كل عام بثمانية وعشرين منخفضاً، وتصنفها من حيث مواطن نشأتها إلى ثلاثة أصناف رئيسية هي:

١ -المنخفضات المتوسطية: وتشمل المنخفضات التي تصل إلى الحوض الشرقي قادمة من الحوضين الغربي والأوسط، ويقدر عددها بواحد وعشرين منخفضاً. وأهم مناطق تكونها هو خليج جنوه الذي يتكون فيه وحده ٥٢ منخفضاً في السنة. وبالرغم من أن المنخفضات تتكون في ذلك الخليج طوال العام إلا أن معظمها يتكون في فصل الشتاء خاصة بعد أن تصل الجبهة القطبية(Atlantic Front) إلى جنوبي فرنسا. ويقدر عدد المنخفضات الجوية التي تصل الحوض الشرقي للبحر المتوسط من الحوضين الغربي والأوسط بواحد وعشرين

منخفضاً تقع معظم مساراتها في الجزء الشمالي من الحوض خاصة في فصل الصيف حيث يسلك أكثر من ٧٠٪ من تلك المنخفضات مسارات شمالية. وبالرغم من أن مسارات تلك المنخفضات تتزحزح جنوباً في فصل الشتاء إلا أنها تبقى مسارات تتجه نحو الشرق أو الشمال الشرقي.

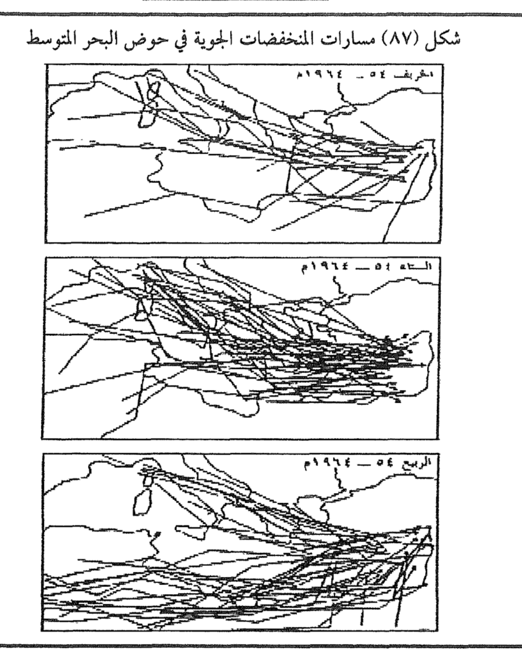
٢-المنخفضات الخماسينية: وتشمل المنخفضات التي تفد إلى الحوض من شمالي افريقيا خاصة في فصل الربيع حيث تفد تلك المنخفضات بمعدل يتراوح بين خمسة وستة منخفضات في السنة. وتسلك المنخفضات الخماسينية في العادة مساراً شرقياً إلى شمالي شرقي محاذياً للساحل الشمالي لأفريقيا خاصة إذا رافق تحركها نحو الشرق تدفق للهواء القطبي البارد في مؤخرتها.

٣-المنخفضات القبرصية: وهي المنخفضات التي تتكون في منطقة جزيرة قبرص ولا يزيد معدلها السنوي عن ١،٥ منخفض يغلب تكونها في أواخر الخريف وبدايات الربيع.

(٤-٢) مسارات المنخفضات الجوية في حوض البحر المتوسط:

يصعب تحديد مسارات معينة تسلكها المنخفضات الجوية ولا تحيد عنها، إلا أن مسارات المنخفضات المتوسطية أكثر انتظاماً وتناسقاً من مسارات المنخفضات الجوية التي يتعرض لها غربي أوروبا. ويبين الشكل (٨٧) المسارات التي سلكتها المنخفضات في البحر المتوسط خلال الفترة ١٩٥٤-١٩٦٤، وهي مسارات يمتد معظمها من الغرب إلى الشرق أو الشمال الشرقي.

شكل (٨٧) مسارات المنخفضات الجوية في حوض البحر المتوسط



ويعزى السبب في الانتظام النسبي لمسارات المنخفضات الجوية في حوض البحر المتوسط إلى تحول ذلك البحر في فصل الشتاء إلى منطقة رئيسية من مناطق الضغط الجوي المنخفض تحيط بها من الشمال ومن الجنوب مراكز ضغط المرتفع فوق جبال الألب وجبال أطلس وشمال أفريقيا.

بعد أن تصل المنخفضات الجوية إلى الطرف الشرقي للبحر المتوسط، فإن معظمها يتمركز لبعض الوقت فوق جزيرة قبرص أو بالقرب منها، قبل أن يواصل مساره

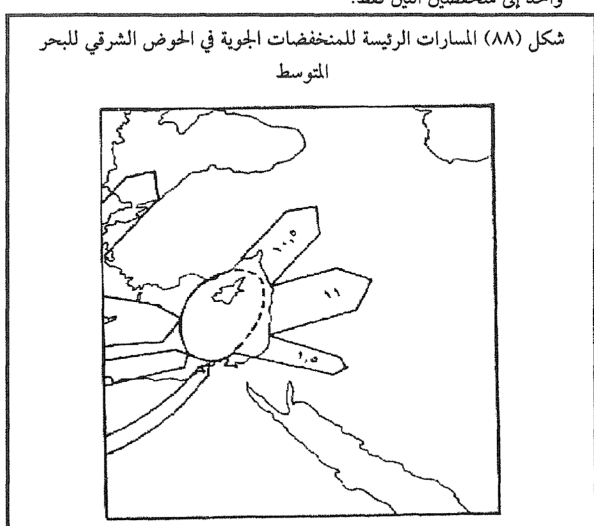
نحو الشرق. وكماهو مبين في الشكل (٨٨)، فإن تلك المنخفضات تسلك بعد تحركها ثلاثة مسارات رئيسة هي.

١-المسار الشمالي الشرقي نحو خليج الإسكندرونة وجنوبي شرقي تركيا، ويسلك هذا المسار في كل عام ما بين عشرة منخفضات وأحد عشر منخفضاً.

٢-المسار الشرقي عبر بلاد الشام والعراق، ويسلك هذا المسار في السنة الواحدة قرابة أحد عشر منخفضاً.

٣-المسار الجنوبي الشرقي، وهو مسار لا تسلكه المنخفضات الجوية إلا نادراً. ويقدر المعدل السنوي لعدد المنخفضات الجوية التي تسلك هذا المسار بمنخفض واحد إلى منخفضين اثنين فقط.

شكل (٨٨) المسارات الرئيسة للمنخفضات الجوية في الحوض الشرقي للبحر المتوسط



(٤-٣) أسباب تكون المنخفضات الجوية في حوض البحر المتوسط:

يصبح البحر المتوسط في فصل الشتاء مركزاً رئيساً من مراكز الضغط الجوي المنخفض الذي تحيط به من جميع الاتجاهات تقريباً مراكز ضغط جوي مرتفع. فإلى الشمال والشرق تجثم نتوءات ضخمة من المرتفع الجوي السيبيري فوق شرقي أوروبا وهضبة الأناضول والعراق والمناطق الداخلية من بلاد الشام. وإلى الجنوب يمتد ذراع ضخم من المرتفع الجوي الأزوري فوق شمالي أفريقيا ليتصل عبر المرتفع الجوي الذي يتكون فوق شمالي الجزيرة العربية بالمرتفع السيبيري ويكونا معاً نطاقاً ضخماً من الضغط الجوي المرتفع. ونتيجة لهذا التوزيع للضغط الجوي، فإن البحر المتوسط يتعرض باستمرار طوال فصل الشتاء إلى غزو كتل هوائية قطبية باردة (cP) وأخرى مدارية باردة (cT).

نشاطات الفصلين الحادي عشر والثاني عشر

النشاط الأول: ارجع الى الموقع التالي على شبكة الانترنيت وراجع الأجزاء الخاصة بالمنخفضات الجوية والكتل الهوائية واكتب تقريرا ملخصا لذلك:

http://met.jometeo.gov.jo/pls/portal/docs/PAGE/WEATHER/TAB410
0/NASHRA.DOC

النشاط الثاني: يتضمن الموقع التالي على شبكة الانترنيت شرحا تفصيليا عن الكتل الهوائية التي تتعرض لها الجزر البريطانية خلال العـام. المطلوب الرجوع إلى ذلك الموقع وكتابة تقرير علمي خاص بهذا الشأن.

http://www.metoffice.gov.uk/education/secondary/students/airmasses.html

الفصل الثالث عشر

أعاصير الهاريكين

يوصف مناخ المناطق المدارية بالانتظام والرتابة. ويعزى انتظام ذلك المناخ وقلة تقلبه إلى قلة تعرضه للكتل الهوائية القطبية الباردة، كما أن ما يصل منها الى المناطق المدارية يكون قد فقد معظم خصائصه الأصلية أثناء مساره الطويل، وأصبحت درجة حرارتها لا تختلف اختلافاً كبيراً عن درجة حرارة المناطق المدارية. وعلى الرغم من ذلك، فإن المناطق المدارية تتعرض بين الحين والآخر لبعض الاضطرابات الجوية العنيفة التي لا تكون مقترنة بجبهات جوية محددة، وترافقها أمطار غزيرة، ورياح قوية، وتسبب خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات[1]. وسنتعرض في هذا الفصل لثلاثة أنواع من تلك الاضطرابات هي أعاصير الهاريكين والأعاصير المدارية ثم نناقش نوعا آخر من الأعاصير الذي يحدث في المناطق المدارية والمناطق المعتدلة على حد سواء خاصة في الولايات المتحدة الأمريكية وهو أعاصير التورنادو.

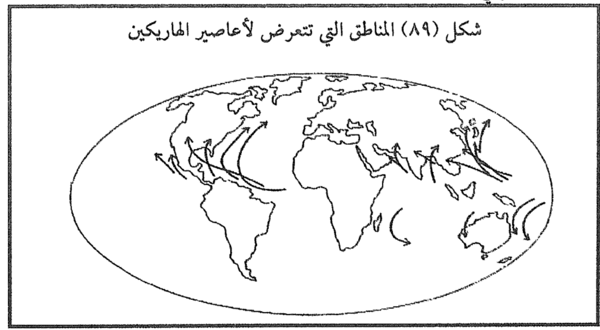
أولا: أعاصير الهاريكين

يعرف إعصار الهاريكين بأنه إعصار مداري عنيف غير جبهوي (non-frontal)، تزيد سرعة الرياح المرافقة له عن ٦٤ عقدة على الأقل (Holland,1993). وكلمة هاريكين مأخوذة في الأصل من كلمة (Hurican) بمعنى إله الشر. إلا أنها أصبحت

(١) أحد الاختلافات الرئيسة بين المنخفضات الجوية التي تتعرض لها المناطق المعتدلة والأعاصير المدارية أن الاضطرابات الجوية تقترن عادة بالتقاء كتل هوائية مدارية دافئة بكتل قطبية باردة وبنشأة جبهة جوية تفصل فيهما. أما الأعاصير المدارية فلا تقترن بالتقاء كتل هوائية ولا بنشأة جبهة جوية. أي أنها اضطرابات خالية من أية جبهات جوية محددة.

الآن اسم عام يطلق على جميع الأعاصير المدارية القوية التي تنشأ في الأجزاء المدارية من المحيط الأطلسي وجنوب المحيط الهادئ. وتعرف الأعاصير المشابهة لها التي تحدث في شمال غرب المحيط الهادئ بالتيفون (Typhoon)، والتي تحدث في الجزء الشمالي من المحيط الهندي وبحر العرب بالعواصف الإعصارية الشديدة (Severe cyclonic storms) (شكل ٨٩). وتدور الرياح حول مركز الإعصار بحركة دورانية عنيفة معاكسة لعقارب الساعة في النصف الشمالي، ومتفقة معها في النصف الجنوبي.

شكل (٨٩) المناطق التي تتعرض لأعاصير الهاريكين



وتصنف العواصف المدارية التي تتعرض لها المناطق المدارية، تبعاً لاختلاف سرعة الرياح المرافقة لها إلى ثلاث فئات، هي:

- منخفض جوي مداري (**Tropical Depression**) وهو الذي تقل سرعة الرياح المرافقة له عن ٣٤ عقدة. وهو يختلف اختلافاً جوهرياً عن المنخفضات الجوية التي تحدث في المناطق المعتدلة والباردة.
- عاصفة مدارية: وهي التي تصل سرعة الرياح المرافقة لها إلى ٦٣ عقدة.
- هاريكين أو تيفون وهو الذي تتجاوز سرعة الرياح المرافقة له ٦٤ عقدة على الأقل.

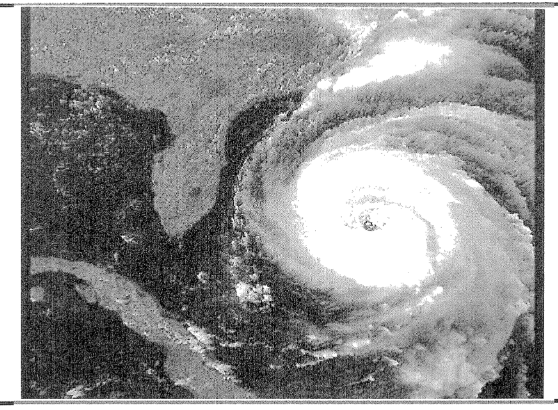
(١) نشأة أعاصير الهاريكين

تمتاز أعاصير الهاريكين عن المنخفضات الجوية التي تتعرض لها المناطق المعتدلة والباردة بأنها أشد منها قوة، وبأنها لا تكتسب الطاقة الهائلة المرافقة لها من التدرج الكامن لدرجة الحرارة على طول جبهة محددة، وإنما من انخفاض الضغط الجوي، وتبخر كميات كبيرة جداً من مياه المحيط، وتكاثفها في تلك الأعاصير على شكل غيوم كثيفة، وأمطار غزيرة[١]. تظهر أعاصير الهاريكين في الصور التي تلتقطها الأقمار الاصطناعية على شكل تجمع ضخم من الغيوم يأخذ شكلا حلزونياً متفقاً مع حركة الرياح الإعصارية المرافقة له (شكل ٩٠).

شكل (٩٠) نماذج لعين الهاريكين



(١) لن نفرد لأعاصير التيفون والأعاصير المدارية الأخرى التي تحدث في مناطق أخرى غير المحيط الأطلسي اجزاء خاصة من هذا الفصل ، ولا سيما المبادئ العامة التي تتميز بها أعاصير الهاريكين تنطبق عليها .



تنشأ أعاصير الهاريكين فوق مياه بحرية دافئة، ولا تنشأ فوق اليابسة إطلاقاً. وأهم الشروط المناسبة لنشأتها هي:

١ - ارتفاع درجة حرارة مياه البحر إلى ٢٦,٥° م على الأقل.

٢- أن يكون معدل تناقص درجة الحرارة بالارتفاع كبيراً، أي أن تكون الكتلة الهوائية غير مستقرة.

٣- وجود طبقة من الهواء الرطب في منتصف طبقة التروبوسفير.

٤ - لا تقل المسافة من خط الاستواء عن ٥٠٠ كم، حتى يكون لقوة كوروليوس تأثير ملموس يؤدي الى انحراف الرياح وبدء الحركة الإعصارية.

٥-يسبق نشأة الهاريكين وتطوره ظهور عاصفة مدارية اخرى بحيث تشكل النواة الأولى التي يتكون منها إعصار الهاريكين. وقد تبين من إحصاءات سابقة أن نسبة العواصف المدارية التي تتطور إلى هاريكين لا تزيد على ١٠٪، وأن النصف الشمالي كله لا يتعرض في العام الواحد إلى أكثر من ٥٠ هاريكين، بينما يزيد عدد المنخفضات الجوية التي تتعرض لها المناطق المعتدلة في الأسبوع على ٢٠ منخفضاً.

(٢) الدمار الذي تسببه أعاصير الهاريكين

تلحق أعاصير الهاريكين في المناطق التي تتعرض لها دماراً واسعاً وتصاحبها أمطار غزيرة وفيضانات جارفة، ولا سيما أن معدل الأمطار المصاحبة لها يصل أحيانا إلى ٥٠٠ مم/اليوم، كما أن سرعة الرياح التي ترافقها قد تتجاوز ٣٧٠كم/الساعة (شكل ٩١).

شكل (٩١) الدمار الذي يسببه الهاريكين



ويعتقد الناس خطأ، أن العامل الرئيس في الدمار الذي يسببه إعصار الهاريكين هو انخفاض الضغط الجوي في الإعصار انخفاضاً شديداً، لكن الواقع هو أن معظم الدمار يعزى للرياح القوية المرافقة للإعصار نفسه. كما أن منسوب المياه في الخلجان والمسطحات المائية الصغيرة التي تتعرض للهاريكين يرتفع عدة أمتار مما يتسبب في غمر مساحات شاسعة من المناطق الساحلية. وقد سجل التيفون الذي تعرض له خليج باثيرست (Bathurst Bay) عام ١٨٩٩، أقصى ارتفاع لمياه البحر منذ ذلك التاريخ. فقد وصل ارتفاع مياه البحر أثناء ذلك الإعصار إلى١٣ متراً. ويعزى ارتفاع مياه البحر المرافق لأعاصير الهاريكين عادة إلى عاملين هما شدة

الرياح وتناقص الضغط الجوي. وتعد شدة الرياح العامل الرئيس الذي يساهم بأكثر من ٨٥٪ من ارتفاع مياه البحر.

ويعد الإعصار الذي تعرضت له جمهورية بنغلاديش في اكتوبر عام ١٩٧٠ أكثر الأعاصير التي تسببت في حدوث وفيات. فقد تسبب ذلك الإعصار وحده في وفاة أكثر من ٣٠٠,٠٠ نسمة، وألحق اضراراً واسعة بالممتلكات تزيد عن بليون دولار. أما إعصار أندرو (Andrew) الذي ضرب كل من جزر البهاما وولايتي فلوريدا و لويزيانا عام ١٩٩٢، فقد تسبب في أكبر خسائر مادية في التاريخ (٣٠ بليون دولار أمريكي).

(٣) خصائص أعاصير الهاريكين

يقل قطر الهاريكين المثالي عن ٦٥٠كم، وعلى الرغم من ذلك فإن الضغط الجوي ينخفض فيه أحيانا إلى أقل من ٩٠٠ ميلليبار، ويصل في بعض الحالات النادرة الى أقل من ذلك. فقد انخفض الضغط الجوي الى ٨٧٠ ميلليبار في إعصار التيفون المعروف بإعصار" تب" (Tip) الذي ضرب الشمال الغربي من المحيط الهادي في اكتوبر ١٩٧٩، وبلغت سرعة الرياح ١٦٥عقدة. أما إعصار جلبرت (Gilbert) الذي حدث في سبتمبر ١٩٨٨ فقد سجل أشد انخفاض للضغط الجوي يسجله أحد أعاصير الهاريكين التي تعرض لها المحيط الطلسي.

ونظراً لوقوع الأعاصير المدارية في نطاق الرياح التجارية الشرقية، فإنها تتحرك ـ عموما ـ من الشرق إلى الغرب، وتنحرف أحيانا باتجاه الشمال (شكل ٩٢). فإذا خرجت عن نطاق الرياح التجارية ودخلت نطاق الرياح الغربية،فإنها تتحول إلى منخفضات جوية، وتتحرك من الغرب إلى الشرق. يبلغ متوسط عمر الهاريكين حوالي أسبوع تقريبا، لكنه يتمركز أحياناً لمدة أطول، مما يؤدي إلى مضاعفة آثاره التدميرية.

شكل (٩٢) مسارات اعاصير الهاريكين في المحيط الأطلسي

يستمد الهاريكين طاقته التدميرية الهائلة من تكاثف بخار الماء، ولهذا فان من الشروط الأساسية ـ التي سبق ذكرها ـ أن يتطور الهاريكين على مسطحات مائية دافئة تزيد درجة حرارتها على ٢٦,٥°م. وقد لوحظ أن درجة الحرارة داخل الإعصار أعلى منها خارجه، كما لوحظ وجود علاقة قوية بين تدرج الضغط الجوي في الإعصار، وسرعة الرياح التي ترافقه، ودرجة حرارة المياه التي يتكون فوقها. كما لوحظ أن أعاصير الهاريكين لا تتكون إلا في المسطحات المائية، وأنها تبدأ في الضعف وتموت بعد أن تنتقل إلى اليابسة. وقد كان يعتقد سابقاً أن السبب في ذلك هو الاحتكاك بسطح الأرض، لكن الواقع هو ابتعادها عن مصدر تزويدها ببخار الماء.

ويمكن تلخيص أهم الحقائق التي نعرفها عن نشأة وتطور أعاصير الهاريكين، فيما يلي:

١ - لا تنشأ أعاصير الهاريكين في المنطقة الواقعة بين خطي العرض ٥ درجات شمالاً وجنوباً نظراً لانعدام القوة الكورولية.

٢- توجد علاقة ارتباط قوية بين أماكن نشأة الهاريكين وموقع الاخدود الاستوائي ولهذا فان الحوض الجنوبي من المحيط الأطلسي الذي لا يقع ضمن نطاق الاخدود الاستوائي أبدا، يخلو من أعاصير الهاريكين تماماً.

٣- يرافق تطور العاصفة المدارية وتحولها الى هاريكين تكون مرتفع جوي قوي في الجزء الأعلى من التروبوسفير.

٤- تبلغ الأعاصير المدارية أقصى نشاط لها عندما تكون الرياح الغربية في المناطق المعتدلة منكمشة شمالاً، وفي هذه الحالة فان أعاصير الهاريكين تتوغل في مساراتها غرباً قبل أن تنحرف شمالاً وتدخل نطاق الرياح العكسية وتتحول الى منخفضات جوية عادية تتحرك من الغرب إلى الشرق.

٥- يكثر حدوث أعاصير الهاريكين في النصف الشمالي من المحيط الأطلسي في الفترة الواقعة بين شهري اغسطس واكتوبر، وتبلغ أوجها في النصف الأول من سبتمبر. أما في النصف الجنوبي فتحدث بين يناير ومارس.

(٤) عين الإعصار

يتكون في مركز الاعصار منطقة دائرية الشكل يتراوح قطرها بين ٣٠-٦٠كم تعرف بعين الاعصار(شكل ٩٣). وهي تمتاز بهدوء الرياح، وصفاء السماء، وقلة الأمطار، وتسود فيها تيارات هوائية هابطة. أما أكثر مناطق الأعصار اضطراباً فهي التي تحيط بعين الاعصار وتعرف بجدار العين (Eye Wall) ، حيث تبلغ الرياح أقصى سرعة لها، وتتلبد السماء بالسحب وتسقط أمطار غزيرة، وهي منطقة تسود فيها تيارات هواء صاعدة. أما على أطراف الاعصار فتوجد تيارات هوائية هابطة مما يضع حداً واضحاً لجميع الظواهر الجوية التي ترافق الاعصار ويجعل الطقس الذي يسبق وصوله بأربع وعشرين ساعة طقساً حسناً.

شكل (٩٣) عين الإعصار



(٥) تصنيف الأعاصير

يستخدم في تصنيف أعاصير الهاريكين إلى درجات مقياس خاص يعرف بمقياس سيفر – سيمسون (Saffir-Simpson Scale)، وهو شبيه بمقياس ريختر للزلازل وبمقياس بيفور للرياح وغيرها. وكما هو مبين في الجدول (١٤)، فإن أعاصير الهاريكين تصنف وفقاً لشدتها إلى خمس فئات، تعرف كل منها برقم خاص (١، ٢، ٣، ٤، ٥) وتتدرج تلك الأعاصير في القوة كلما زاد رقمها على مقياس سيفر- سيمسون. وقد استخدم في تقدير قوة الإعصار سرعة الرياح المرافقة له، وانخفاض الضغط الجوي في مركزه، ومقدار الارتفاع في مياه البحر الناتج عنه. وتصنف الأعاصير من الرتب الثلاث الأخيرة بأنها أعاصير رئيسة أو شديدة. ومع أن نسبتها لا تتجاوز ٢٠٪ من المجموع الكلي لأعاصير الهاريكين، إلا أنها تتسبب في أكثر من ٧٥٪ من الدمار الذي تلحقه تلك الأعاصير بالولايات المتحدة.

جدول (١٤) سلم سيفر- سيمسون لقياس شدة أعاصير الهاريكين

الصنف	سرعة الرياح (عقدة)	الضغط الجوي (ميلليبار)	ارتفاع المياه (متر)
١	٦٤-٨٣	٩٨٠	١,٠-١,٧
٢	٨٤-٩٦	٩٧٩-٩٦٥	١,٨-٢,٦
٣	٩٧-١١٣	٩٦٤-٩٤٥	٢,٧-٣,٨
٤	١١٤-١٣٥	٩٤٤-٩٢٠	٣,٩-٥,٦
٥	١٣٦ فأكثر	أقل من ٩٢٠	٥,٧ فأكثر

(٦) تعديل أعاصير الهاريكين:

نظراً للخسائر الجسمية التي تلحقها أعاصير الهاريكين عندما تدخل اليابس فقد بذلت جهود كبيرة لمراقبتها، وتتبع مساراتها، وإنذار المحطات الأرضية بقرب وصولها، كما بذلت محاولات أخرى للتأثير على تلك الأعاصير وإضعافها. وقد قامت الولايات المتحدة الأمريكية بمعظم تلك الجهود خاصة وأن منطقة خليج المكسيك هي من أكثر المناطق التي تتعرض لهذه الأعاصير. وقد ساعدت في تحقيق ذلك الطائرات والمراكب الفضائية، التي تستطيع تحديد مواقع أعاصير الهاريكين فوق مساحات شاسعة من المسطحات المائية وتتبعها، وتحذير المحطات الأرضية بقرب وصولها، أو حدوث أي تغيير في اتجاهها.

وتقوم معظم محاولات إضعاف هذه الأعاصير على بذرها بأيوديد الفضة للإسراع في عملية التكاثف والتخلص من تراكم الطاقة في الاعصار. وقد تأسس في الولايات المتحدة سنة ١٩٦٢ أول برنامج مشترك بين دائرة الأرصاد الجوية والبحرية الأمريكية أطلق عليه اسم (Stormfury)، الا أن النتائج الاولى لذلك البرنامج لم تكن مشجعة كثيراً وكان النجاح الذي صادفه المشروع في تعديل بعض السحب الركامية المنعزلة أكثر من النجاح الذي صادفه في تعديل الهاريكين. الا أن أكثر التجارب نجاحاً هي التجارب الخمس التي تمت على هاريكين ديبي (Debbie) يومي ١٨-٢٠ آب سنة ١٩٦٩ وكان يفصل بين التجربة والأخرى ساعتان. وقد انخفضت سرعة الرياح بعد تلك التجارب من ٩٨ عقدة في الساعة الى ٦٨ عقدة.

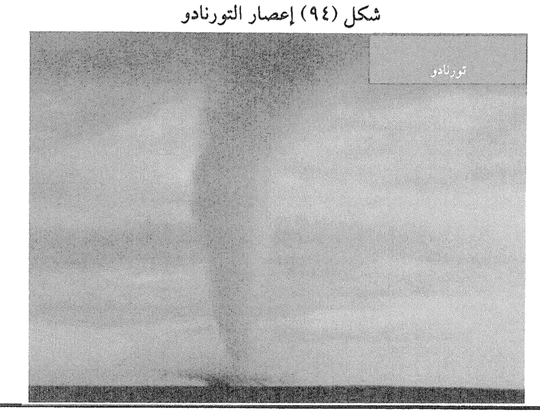
الفصل الرابع عشر

أعاصير التورنادو

التورنادو عاصفة قصيرة المدة، صغيرة المساحة، تدور الرياح فيها حول مركز الإعصار في حركة إعصارية بالغة العنف، وتتراوح سرعتها الدورانية حوالي ١٥٠-٣٠٠ كم/ الساعة. يبدو التورنادو للعيان كأنه سحابة تشبه القمع أو خرطوم الفيل (Funnel cloud) تتدلى من سحابة سميكة من سحب المزن الركامي (الشكل ٩٤). وكلمة تورنادو مأخوذة في الأصل من الكلمة الاسبانية (tronada)، ومعناها العاصفة الرعدية.

ويعد إعصار التورنادو من أكثر العواصف الجوية تدميرا ً، فالمنطقة التي يمر عليها تبدو وكأنه قد أصابها زلزال عنيف. وتعزى طاقته الهائلة، والسرعة المدمرة للرياح التي ترافقه، إلى صغر مساحته، وشدة تدرج الضغط الجوي المصاحب له. فأغلب أعاصير التورنادو لا يزيد قطرها عن مئات الأمتار، بينما يتناقص الضغط الجوي فيها إلى ٨٠٠ أو ٦٠٠ ميلليبار، وتصل سرعة الرياح إلى ٥٠٠ كم/ الساعة. والحقيقة أنه لم يتم حتى الآن قياس شدة تحدّر الضغط الجوي أو سرعة الرياح التي ترافق التورنادو، إذ أن أجهزة الرصد التي يمر عليها الإعصار يدمرها كلياً. لكنه قد أمكن تقدير شدة تحدّر الضغط الجوي وسرعة الرياح من تحليل الآثار التي يتركها على المباني والمنشآت الأخرى التي يدمرها، ومن بعض النماذج الرياضية والتجريبية.

شكل (٩٤) إعصار التورنادو



وقد طور عالم الأرصاد الأمريكي Fujita الذي يعمل أستاذاً للأرصاد الجوية في جامعة شيكاغو مقياساً للتعبير عن شدة أعاصير التورنادو يُستخدم في الأوساط العلمية على نطاق واسع. يصنف ذلك المقياس أعاصير التورنادو إلى سبع مراتب بدءاً بالمرتبة (F0) التي تمثل أقل المراتب، وانتهاء بالمرتبة السابعة التي تمثل أكثر اعاصير التورنادو شدة (جدول ١٥). علماً بأن إعصاراً من الفئة (F6) لم يحدث من قبل، ولكنه يمثل الحد الأقصى الذي يمكن أن تصل إليه شدة الإعصار[١].

(١) لمزيد من التفصيلات ، انظر: http://www.txdirect.net/~msattler/tdestr.htm

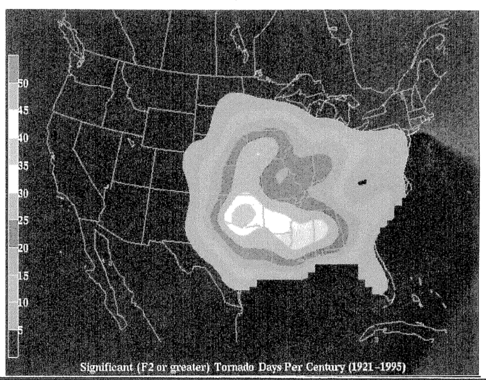
جدول (١٥) سلم فوجيتا لتصنيف أعاصير التورنادو

المرتبة	سرعة الرياح ميل/ الساعة
FO	٤٠-٧٢
F1	٧٣-١١٢
F2	١١٣-١٥٧
F3	١٥٨-٢٠٦
F4	٢٠٧-٢٦٠
F5	٢٦١-٣١٥
F6	٣١٦فاكثر

أكثر جهات العالم عرضة لأعاصير التورنادو هي الجزء الأوسط والجنوبي الشرقي من الولايات المتحدة، ويشمل ولايات تكساس وأوكلاهوما، وكنساس، وميسوري، ونبراسكا وأيوا (شكل ٩٥). وهو قليل الحدوث في الجهات الأخرى من العالم عدا كندا واستراليا. ويبلغ متوسط عدد اعاصير التورنادو التي تتعرض لها الولايات المتحدة سنوياً بحوالي ٨٠٠ إعصار، تتسبب في حوالي ٨٠ حالة وفاة، وأكثر من ١٥٠٠ إصابة. وهو يشبه العواصف الرعدية في أن الوقت المفضل لحدوثه يقع بين الساعة الثانية والتاسعة مساء. فأكثر من ٦٧٪ من أعاصير التورنادو التي أصابت للولايات المتحدة قد حدثت بين الساعة الثانية والثامنة مساء، وأكثر الشهور التي يحدث فيها هي ابريل ومايو ويونيو.

مسارات التورنادو في العادة مسارات عشوائية، ومشوشة، وقصيرة، إذ أن معظم مساراته لم تزد عن ٢٠ كيلومتراً، وتتراوح مدته بين ١٥ دقيقة وخمس ساعات.إلا أن معظم أعاصير التورنادو لا تدوم سوى دقائق معدودة. وهو يسير ـ عادة ـ بسرعة تتراوح بين ٥٠ ـ ٩٨ كم.

شكل (١٠) أكثر جهات العالم عرضة لأعاصير الهاريكين



(١) نشأة أعاصير التورنادو:

تنشأ أعاصير التورنادو عادة ضمن العواصف الرعدية القوية، ولا سيما على طول جبهة محددة تنشأ نتيجة اندفاع هواء قطبي جاف شديد البرودة فوق كتلة من الهواء المداري الدافئ الرطب. يشجع هذا الوضع على امتزاج الهواء البارد بالهواء الدافئ، بحيث يؤدي الهواء الدافئ، في المواقع التي يتمكن فيها من اختراق الهواء البارد، الى تكون سحب ضخمة يشبه شكلها القمع أو السندان أو الفطر وتعرف بالسحب القمعية (Funnel clouds). ولسوء الحظ فانه لم يتم حتى الآن - وعلى الرغم من كل الجهود التي بذلت في سبيل ذلك - تطوير وسيلة فعالة للتنبؤ بحدوث أعاصير التورنادو، أو لتحديد مساراتها، ولا تزال الكثير من النماذج التجريبية التي صُمِمّت لتمثيل التورنادو وتحليله، عاجزة عن تفسير نشأته تفسيراً شاملاً، لكن معظم الباحثين يجمعون بأن المصدر الرئيس للطاقة في التورنادو هو الطاقة الكهربائية الزائدة التي تتراكم في السحابة الرعدية المصاحبة لها بفعل شدة البرق.

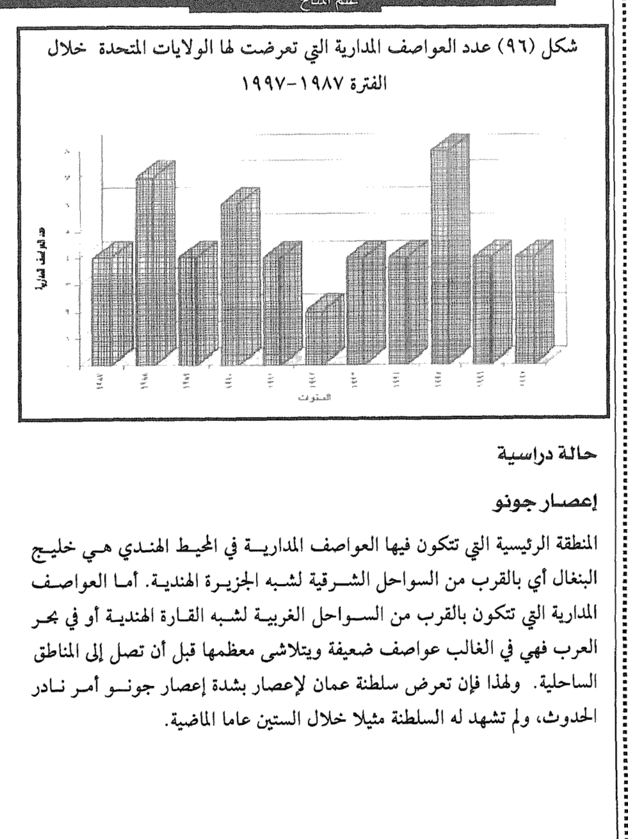
الفصل الخامس عشر

العواصف والأعاصير المدارية

ذكرنا في بداية هذا الفصل أن العواصف المدارية تشكل الفئة الثالثة من الاضطرابات الجوية التي تتعرض لها المناطق المدارية. وهي لا تختلف عن أعاصير الهاريكين إلا من حيث الشدة فقط. فسرعة الرياح المرافقة لها لا تتجاوز ٦٣ عقدة. أما من حيث المكونات الأخرى للإعصار المداري فشبيهة بالهاريكين تماماً، سواء من حيث انخفاض الضغط الجوي، أو الحركة الإعصارية للرياح التي تعاكس اتجاه عقارب الساعة في النصف الشمالي وتتفق معه في النصف الجنوبي، أو غير ذلك. وكما يذكر مركز مراقبة العواصف (STORM WATCH) الأمريكي، فإن أربعة من أقوى ثلاثين إعصار هاريكين تعرضت لها الولايات المتحدة منذ عام ١٩٣٨، قد بدأت بعواصف مدارية ثم تحولت فجأة إلى أعاصير هاريكين. وقد لوحظ أن بعض أعاصير الهاريكين القوية تتحول عندما تضعف ويصيبها الوهن إلى عواصف مدارية.

وبالرغم من أن أعاصير الهاريكين هي المسؤولة عن معظم الخسائر المادية التي تلحق بالولايات المتحدة سنوياً، فإن من الخطأ إهمال دور الأعاصير المدارية. فالعاصفة ألين (Allen) التي اجتاحت المناطق الساحلية لولاية تكساس عام ١٩٨٩ قد تسببت في خسائر مادية تفوق الخمسمائة مليون دولار. وتسببت العاصفة البرتو (Alberto) التي تعرضت لها أجزاء من فلوريدا وجورجيا والاباما عام ١٩٩٤ بنفس المقدار من الخسائر. ويبين الشكل (١٣-٣) عدد العواصف المدارية التي تعرضت لها الولايات المتحدة خلال الفترة ١٩٨٧-١٩٩٧، حيث تأتي سنة ١٩٩٣ في الطليعة تليها سنة ١٩٨٨.

شكل (٩٦) عدد العواصف المدارية التي تعرضت لها الولايات المتحدة خلال الفترة ١٩٨٧-١٩٩٧



حالة دراسية

إعصار جونو

المنطقة الرئيسية التي تتكون فيها العواصف المدارية في المحيط الهندي هي خليج البنغال أي بالقرب من السواحل الشرقية لشبه الجزيرة الهندية. أما العواصف المدارية التي تتكون بالقرب من السواحل الغربية لشبه القارة الهندية أو في بحر العرب فهي في الغالب عواصف ضعيفة ويتلاشى معظمها قبل أن تصل إلى المناطق الساحلية. ولهذا فإن تعرض سلطنة عمان لإعصار بشدة إعصار جونو أمر نادر الحدوث، ولم تشهد له السلطنة مثيلا خلال الستين عاما الماضية.

القاعدة العامة إذن هي أن الغالبية الساحقة من العواصف المدارية التي تتكون على طول السواحل الغربية للهند أو في بحر العرب تبقى عواصف مدارية ضعيفة وأن النادر منها ما يتطور إلى إعصار مداري بالغ العنف[1].

ومن أبرز الأمثلة الحديثة على هذا النوع من الأعاصير إعصار جونو (Guno) الذي ضرب معظم المناطق في سلطنة عمان خلال الفترة ٥-٦/١١/٢٠٠٧ وألحق بها خسائر جسيمة[2]. كما امتد تأثيره إلى السواحل الجنوبية من ايران، وألحق بها بعض الخسائر. ويعد إعصار جونو أعنف الأعاصير التي تعرض لها بحر العرب في الستين سنة الماضية، خاصة وأن تلك المنطقة لا تتعرض في العادة، إلا لعواصف ضعيفة ذات تأثير محدود. أما أن تتعرض لأعاصير قوية ومدمرة كإعصار جونو فأمر نادر الحدوث.

---

(١) تصنف الأعاصير المدارية تبعا لشدتها إلى خمس درجات هي:

الدرجة الأولى (١): تتراوح سرعة الرياح المرافقة لهذه الدرجة من الأعاصير بين ١١٨-١٥٤كم/الساعة، وهي تلحق أضرارا بالأشجار والمنازل المتحركة وتغرق الطرق الساحلية بالمياه..

الدرجة الثانية (٢): تتراوح سرعة الرياح المرافقة لهذه الدرجة من الأعاصير بين ١٥٥-١٧٧ كم/الساعة، وهي تلحق أضرارا بالأشجار وبالسيارات، وتؤدي إلى قطع الطرق الساحلية.

الدرجة الثالثة (٣): تتراوح سرعة الرياح المرافقة لهذه الدرجة من الأعاصير بين ١٧٨-٢٠٩ كم/الساعة. تلحق هذه الفئة من الأعاصير أضرارا بالمباني الصغيرة، ويفضل إخلاء المنطقة التي ستتعرض لهذه الدرجة من الأعاصير.

الدرجة الرابعة (٤): تتراوح سرعة الرياح المرافقة لهذه الدرجة من الأعاصير بين ٢١٠- ٢٤٨كم/الساعة. وتلحق هذه الفئة من الأعاصير أضرارا بالغة بالمباني والأشجار ويصبح إخلاء المنطقة التي ستتعرض لهذه الدرجة من الأعاصير أساسي.

الدرجة الخامسة (٥): تتراوح سرعة الرياح المرافقة لهذه الدرجة من الأعاصير بين ٢٤٩- ٢٦٠كم/الساعة. تتسبب هذه الفئة في الحاق دمار شامل للأشجار والمباني. ولا بد من القيام بإخلاء تام للمنطقة.

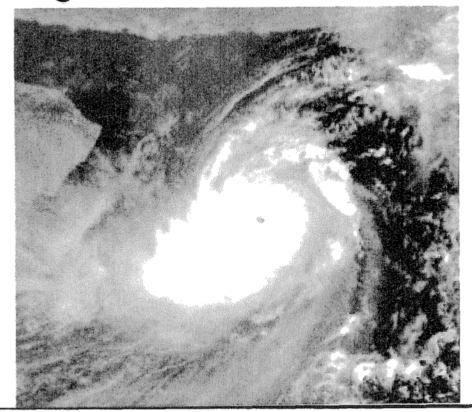
الدرجة السادسة (٦): تزيد سرعة الرياح في هذه الفئة من الأعاصير عن ٢٦٠ كم/الساعة. وتتسبب هذه الفئة من الأعاصير الشديدة في الحاق دمار شامل في الأشجار والمباني والمرافق الحيوية الأخرى، كما تتسبب في فيضانات كبيرة وتؤدي إلى حدوث أمواج عالية.

(٢) كلمة غونو مأخوذة من لغة أهل جزر المالديف وتعني كيسا مملوءا بأوراق البلح.

تكون إعصار جونو وتطوره:

تكّون إعصار جونو على السواحل الغربية لشبه القارة الهندية يوم ١/٦//٢٠٠٧، وقد بدأ كعاصفة مدارية ضعيفة، إلا أنه ما لبث أن تعمق وازدادت قوته كثيرا بحيث تم تصنيفه في مساء يوم ٣/٦//٢٠٠٧ كإعصار مداري مدمر. تطور بسرعة كبيرة خاصة وأن الأحوال الجوية في طبقات الجو العليا كانت ملائمة تماما لتطوره، كما أن مياه المحيط الهندي التي تكّون فوقها كانت مياها حارة. وقد انخفض الضغط الجوي في مركزه إلى أقل من ٩٢٠ ميللبيار ووصلت سرعة الرياح المرافقة له إلى ٢٤٠كم/ الساعة في اليوم الثالث لتكونه (٣/٦//٢٠٠٧)، وتكونت له عين واضحة تماما (شكل ٩٧).

شكل (٩٧) إعصار جونو عند وصوله مرحلة النضج



بدأ إعصار جونو في التحرك نحو الشمال الغربي، وكان واقعا إلى الشرق من نتوء جوي علوي (Trough) يمتد نحو الشمال الغربي. وقد كانت قوته تضعف في بعض الأحيان بسبب تعرضه لرياح جافة وباردة نسبيا. إلا أن مدى تأثير تلك

الرياح على شدة الإعصار لم تكن قوية كما كان متوقعا. وأخيرا وصل السواحل الجنوبية الشرقية من عمان يوم ٢٠٠٧/٦/٥ (شكل ٩٨).

وكان عند وصوله إلى مسافة ٢٨٥ كم إعصارا بالغ القوة، إذ زادت سرعة الرياح المرافقة له عندما كان على مسافة ٢٨٥ كم من جزيرة مصيرة إلى ٢٦٠ كم/ الساعة، ووصلت سرعة بعض الهبات القوية إلى ٣١٥ كم/ الساعة، ووصل ارتفاع الأمواج المرافقة له إلى ١٢ مترا (شكل ٩٩). وهو بهذا، يعد من أعاصير الدرجة الخامسة.

ونظرا لأن العواصف والأعاصير المدارية تكتسب الجزء الأكبر من الطاقة التي تتمتع بها بسبب تكاثف جزء كبير من الكميات الهائلة من بخار الماء التي تستمده بسبب تكونها فوق المسطحات المائية المدارية الحارة، فقد أصاب جونو الكثير من الضعف بعد عبوره اليابسة وتحول منذ مساء ٢٠٠٧/٦/٥ أي قبيل وصوله الساحل الجنوبي الشرقي لإيران إلى عاصفة مدارية.

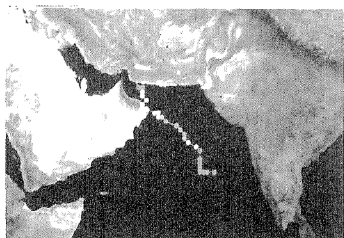
الخسائر الناجمة عن إعصار جونو

اتخذت الحكومة العمانية مجموعة كبيرة من الاحتياطات للتقليل من الخسائر الناجمة عن إعصار جونو، فقد تم إعلان حالة الطوارئ في البلاد، وتم تعطيل الدوائر الحكومية لمدة يومين، كما نُصح السكان في المناطق التي كانت مهددة بالإعصار بإخلاء تلك المناطق. وقد تم بالفعل إخلاء جزيرة مصيرة من السكان تماما، وبلغ مجموع السكان الذين تم إخلائهم حوالي عشرين ألفا.

أما في ايران، فقد تم إخلاء ٤٠٠٠٠ من سكان الساحل الجنوبي الشرقي من البلاد لمسافة كيلو متر واحد على الأقل خشية غمر المياه للشريط الساحلي.

وقد بدأ جونو في التأثير على المناطق الساحلية من عمان قبل وصوله تلك السواحل بحوالي سبع ساعات، إذ تعرضت تلك السواحل لرياح عاصفة كما هطلت عليها أمطار غزيرة بلغت خلال ٢٤ ساعة فقط إلى حوالي ٦١٠ مم، كما تعرضت السواحل إلى أمواج عاتية مما أدى إلى غمر كثير من الطرق الساحلية بالمياه(الأشكال ٩٩، ١٠٠، ١٠١).

شكل (٩٨) مسار إعصار جونو في المحيط الهندي وفي بحر العرب



شكل (٩٩) الأمواج التي رافقت إعصار جونو



شكل (١٠٠) غمر المناطق الساحلية في عمان بالمياه



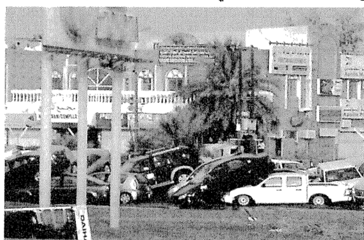
شكل (١٠١) المياه تغمر الطرق الساحلية في عمان خلال تعرض البلاد لإعصار جونو



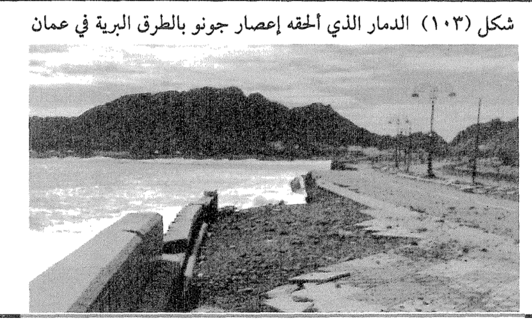
وقد أدت الرياح القوية إلى تدمير خطوط الكهرباء مما أدى إلى انقطاع الكهرباء عن بعض المناطق لساعات طويلة. وقد تسبب الإعصار في دمار واسع في عدة مناطق مثل مدينة صور وقرية راس الحداد. أما في مسقط، فقد وصلت سرعة الرياح إلى ١٠٠كم/ الساعة مما أدى إلى انقطاع الكهرباء. كما أدت الأمواج والأمطار الغزيرة الى غمر الشوارع وبعض المنشئات المنخفضة بالمياه.

وقد تسبب إعصار جونو في وفاة ٤٩ شخصا، وفقدان ٢٧ آخرين، كما الحق خسائر متفاوتة بحوالي ٢٠٠٠٠ شخص. وتقدر قيمة مجموع الخسائر التي الحقها بالبلاد كلها بحوالي أربعة بلايين دولار (الأشكال ١٠٢، ١٠٣).

شكل (١٠٢) الدمار الذي ألحقه إعصار جونو بالمدن العمانية



شكل (١٠٣) الدمار الذي ألحقه إعصار جونو بالطرق البرية في عمان



وقد امتد تأثير إعصار جونو إلى مدينة الفجيرة في دولة الإمارات العربية المتحدة، حيث غمرت مياه الأمواج العاتية الطرق الساحلية وأدت إلى غرق أحد قوارب الصيد وفقدان ركابه السبعة.

وقد تسبب جونو عند وصوله السواحل العمانية في سقوط أمطار متوسطة إلى غزيرة، فقد وصلت كمية الأمطار التي سقطت على مدينة شابهار خلال ٢٤ ساعة إلى ٧٤ مم، وبلغت سرعة الرياح التي تعرضت لها إلى ١١١كم/ الساعة، مما أدى إلى إلحاق خسائر كبيرة بخطوط الكهرباء، وببعض البيوت المبنية من الطين، وتسببت في نشوب عدد من الحرائق. وتسببت مياه الأمطار في فيضان أحد الأنهار الرئيسية في المنطقة مما أدى إلى مقتل ثلاثة أشخاص وتدمير أكثر من ٤٠ منزلا. وقد تسبب جونو في مقتل ٢٣ شخصا في ايران وحدها. وتقدر قيمة الخسائر التي ألحقها بالإقتصاد الإيراني بحوالي ٢ بليون دولار.



٣ الوحدة الثالثة



البيانات والخرائط المناخية

الوحدة الثالثة

البيانات والخرائط المناخية

المخرجات التعليمية للوحدة الثالثة

يتوقع أن يكون الطالب قادرا بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة على القيام بما يلي:

١- يوضح طبيعة البيانات المناخية، وأساليب جمعها، وطرق التعبير عنها.

٢- يتعرف على الأجهزة المستخدمة في قياس العناصر المناخية، وعلى الخصائص المميزة لكل منها.

٣- يشرح المواصفات والشروط التي يجب توفرها عند قراءة أجهزة الرصد الجوي.

٤- يستخدم التكنولوجيا بكفائة في جمع البيانات المناخية.

٥- يعد رسومات وخرائط مناخية، ويفسرها.

٦- يساهم بشكل فعال في العمل الجماعي، والتعلم التعاوني، من خلال مجموعات التركيز، والنقاشات الصفية، وغيرها.

٧- يستخدم التكنولوجيا بكفائة في عرض التكليفات التي يقوم بها.

٨- يقدم التكليفات التي يقوم بها في قاعة الدراسة بلغة سليمة، وأسلوب سلس، ويتناقش مع زملائه، ويؤمن بالرأي الآخر.

الفصل السادس عشر

قياس عناصر المناخ

إن المعرفة بطبيعة البيانات المناخية، وبأساليب جمعها، وطرق التعبير عنها، أمر في غاية الأهمية لفهم عناصر المناخ والقدرة على فهم الكثير من القضايا المناخية، أو إجراء بعض دراسات المناخ التطبيقي مثل دراسة أثر المناخ على المدن، وفي دراسات المناخ الزراعي وغيرها. ولهذا، فإن المشتغل بالمناخ معني بمعرفة بعض خصائص أجهزة الرصد الجوي، وطريقة عملها، والشروط الواجب توفرها عند قراءة كل جهاز من تلك الأجهزة.

المحطات المناخية:

لا تختلف المحطات المناخية كثيرا عن محطات الأرصاد الجوية، سواء في الأجهزة التي توجد في كل منهما، أو في الطريقة التي يتم بها توصيل البيانات الى الدوائر الرئيسية. أما بالنسبة للأجهزة التي توجد عادة في المحطات المناخية، فيمكن تصنيفها إلى أجهزة توضع داخل كشك خاص بالأرصاد الجوية يعرف بكشك ستيفنسون (Stevenson Screen)، وأجهزة أخرى توضع خارجه. أما الأجهزة التي توضع داخل الكشك فتشمل:

- ميزان درجة الحرارة العظمى والصغرى.
- ميزان درجة حرارة رطب وآخر جاف.
- مسجل درجة الحرارة (الثيرموجراف Thermograph).
- مسجل الرطوبة النسبية (هايجروجراف Hygrograph).
- جهاز بيشي لقياس التبخر (Piche).
- مسجل الضغط الجوي (الباروجراف Barograph).

أما الأجهزة التي توضع خارج كشك ستيفنسون، فتشمل:

- مقياس الإشعاع الشمسي
- دوارة الرياح (Wind Vane).
- جهاز قياس سرعة الرياح (Anemometer).
- مقياس المطر (Rain Gauge).
- مسجل المطر الآلي
- جهاز كامبل وستوكس لقياس عدد ساعات السطوع الشمسي.
- حوض (أ) لقياس التبخر (Class A Pan).
- ميزان درجة حرارة التربة.
- ميزان درجة حرارة العشب.

ويمكن تصنيف المحطات المناخية من حيث عدد مرات الرصد اليومي إلى ثلاث فئات، هي:

١- محطات مناخية مساعدة : وهي المحطات التي تقوم برصدة واحدة في اليوم، خصوصا في الساعة التاسعة صباحا، مثل محطات قياس الأمطار.

٢- محطات مناخية عادية: وهي المحطات التي تقوم في اليوم برصدتين جويتين، واحدة في التاسعة صباحا، والأخرى في الثالثة مساء، مثل المحطات المناخية (Clmatological Stations).

٣- محطات أرصاد جوية: وهي تقوم بثماني رصدات جوية في اليوم، تبدأ في الساعة الثانية عشر ليلا، ويفصل بين الواحدة منها والأخرى ثلاث ساعات.

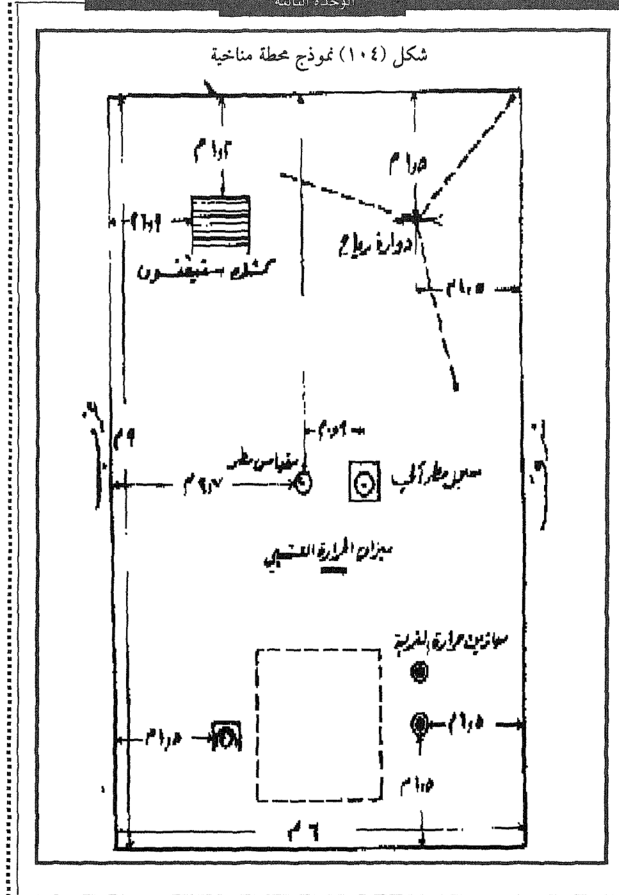
اختيار موقع المحطة المناخية

ان الهدف الرئيس لأي محطة مناخية، هو تجميع البيانات المناخية عن المنطقة التي تقع فيها. ولهذا فان اختيار موقع المحطة المناخية يجب أن يتم بعناية كبيرة، بحيث يكون ممثلا تمثيلا جيداً لمنطقة واسعة. وبما ان دقة قراءات أجهزة الرصد الموجودة

في المحطة تتأثر كثيرا بخصائص الموقع الذي توجد فيه المحطة، وطبيعة المنطقة المحيطة به مباشرة، فإنه يجب اتخاذ الحيطة من تأثير الخصائص المحلية لطبيعة السطح، او العوارض المحيطة بالمحطة على قراءات تلك الأجهزة.

ويفضل أن تُنشأ المحطات المناخية فوق قطعة ارض منبسطة، ومفتوحة، وتبعد عن أية عوارض صغيرة تحيط بها مثل: البنايات، والأشجار، وغيرها، بما لا يقل عن ضعف ارتفاع تلك العوارض على الأقل. ولا يفضل اختيار مواقع المحطات المناخية قرب التلال او السفوح المنحدرة، لما قد ينتج عن تلك السفوح من رياح انحدار (Gradient Winds) تؤثر على الأجهزة المناخية. ويفضل أن يتم اختيار موقع المحطة المناخية بالقرب من وسائل المواصلات، حتى يسهل على الراصد الجوي التنقل، واذا كان ممكنا، يفضل ان تكون المحطة قريبة من تجمع سكني، حتى يستطيع الراصد اان يؤمّن منه كل ما يحتاجه. ويفضل ان تُزود المحطة بالكهرباء والماء، وان تُبنى قربها غرفة صغيرة للراصد. وتُحاط المحطات المناخية عادة بسياج واق، يحميها من الحيوانات. وفي بريطانيا، فإن قطعة الارض التي تبنى فيها المحطة، لا تقل ابعادها عن ٦×١٠ مترا، وتكون ارضيتها مزروعة بالحشائش، وتوضع دوّارة الرياح فيها على عامود ارتفاعه ستة امتار، بينما يبلغ ارتفاع جهز كامبل - وستوكس ثلاثة امتار. ويوضع مقياس المطر في وسط المحطة بعيدا عن كشك ستيفنسون بما لا يقل عن ثلاثة امتار (شكل ١).

وفي الاردن، فان دائرة الارصاد الجوية تبنى المحطات المناخية على قطعة ارض مربعة تبلغ مساحتها في العادة ٦٤ مترا مربعا، ويوضع كشك ستيفنسون في وسط المحطة، بينما يوضع مقياس المطر بعيدا عنه، ويبلغ ارتفاع دوارة الرياح في المحطات التي لا يوجد بالقرب منها عوارض بارزة ستة امتار، بينما يتم رفعه الى عشرة امتار في المحطات الاخرى. ويوضع جهاز كامبل وستوكس على حامل ارتفاعه متران. وبعد تحديد موقع المحطة، يجب تحديد ارتفاعها عن مستوى سطح البحر، كما يجب تحديد الاتجاهات الاربعة تحديدا دقيقا، واذا انتقلت المحطة من موقعها الاصلي الى موقع اخر، فان من المستحسن ان يستمر العمل في المحطتين سنة على الاقل، حتى يتم تحديد الفرق بينهما، وتعديل قراءات المحطة القديمة تبعاً لذلك.



شكل (١٠٤) نموذج محطة مناخية

قياس الإشعاع الشمسي

يمكن أن نميز بين الأنواع التالية من الأشعة بقصد تسهيل عملية قياسها وتقديرها (جدول١٦).

جدول (١٦) تصنيف الأشعة بقصد قياسها وتقديرها

اتجاه الأشعة	طول موجات الأشعة		
	أشعة قصيرة	أشعة طويلة	أشعة مختلفة الأطوال
أسفل	أشعة مباشرة ومنتشرة	أشعة طويلة	مجموع الأشعة المتجهة إلى أسفل
أعلى	أشعة شمسية معكوسة	أشعة أرضية	مجموع الأشعة المتجهة إلى أعلى
المجموع	صافي الأشعة القصيرة	صافي الأشعة الطويلة	صافي الأشعة[1]

ويعرف الجهاز الذي يقيس أشعة الشمس المباشرة والمنتشرة بالبايرانوميتر(Pyranometer). وأشهر الأنواع المعروفة منه، هو جهاز ابلي بايرانوميتر (Epply Pyranometer)، وهو يتكون من عمود حراري (Thermopile) يتألف من قطعتين من المعدن الحساس، لون احدهما ابيض والاخرى مطلية بالسواد. اما الغرض من الاختلاف في اللون، فهو قياس الفرق في درجة حرارة كل منهما تبعا لاختلاف مقدرتهما على امتصاص الاشعة، فالقطعة المعدنية السوداء تمتص كل الاشعة التي تصلها، بينما تعكس القطعة البيضاء معظمها. وبالتالي فان الفرق بين درجة حرارة القطعتين، يتحول الى تيار كهربائي يقيس الاشعة المباشرة والمنتشرة التي يتعرض لها الجهاز (شكل ١٠٥).

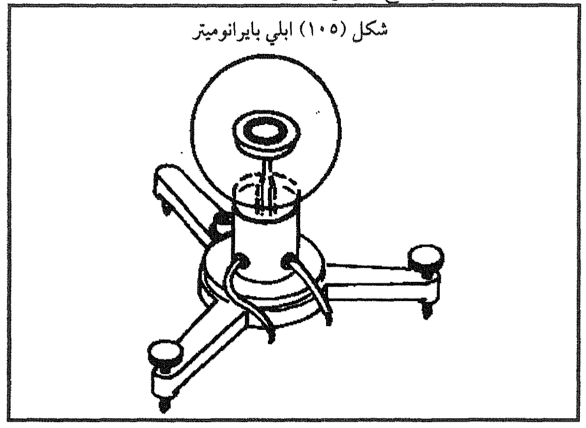
ويكفي ان نقلب هذا الجهاز الى أسفل، بحيث يكون وجهة مقلوبا باتجاه الارض، حتى يقيس اشعة الشمس المعكوسة. ولا نحتاج في هذه الحالة، لقياس صافي

---

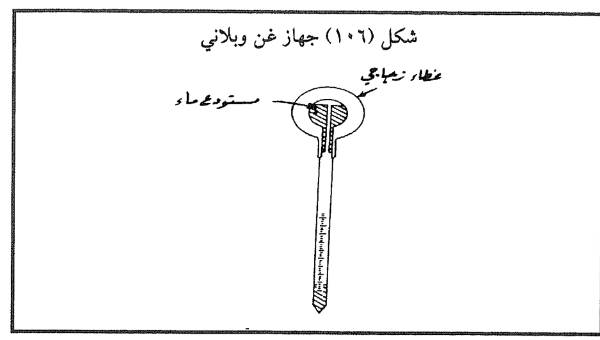
(١) المقصود بصافي الأشعة (Net Radiation) هو الفرق بين الأشعة المتجهة الى أعلى والأشعة المتجهة إلى أسفل.

التوازن الاشعاعي للمكان لأنه يمثل الفرق بين الاشعة التي تصل الجهاز، وبين الاشعة المعكوسة من سطح الارض.

شكل (١٠٥) ابلي بايرانوميتر

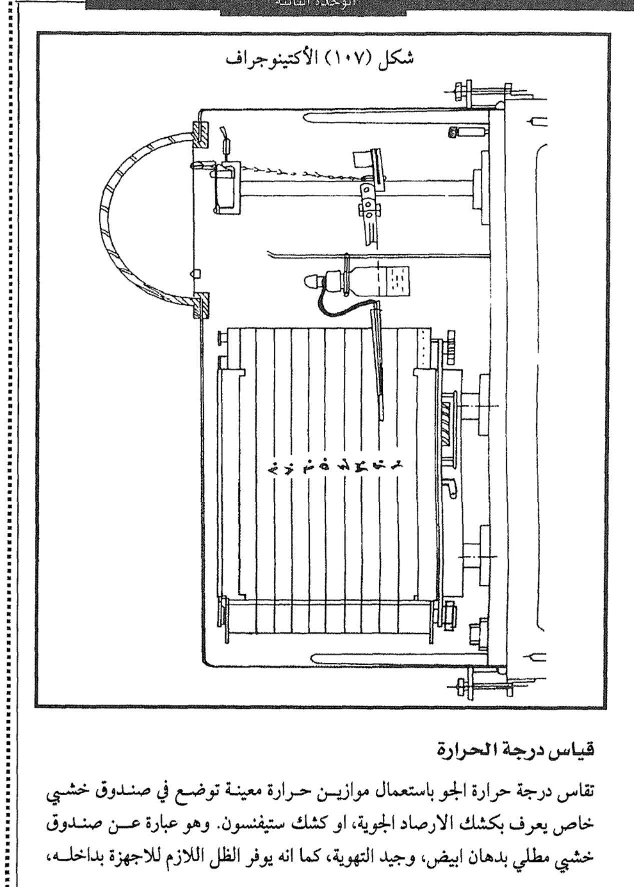


أما صافي الاشعة، فتوجد اجهزة عديدة لقياسه، وتعرف تلك الاجهزة باسماء مختلفة، اهمها جهاز الراديوميتر (Radiometer)، مثل الراديوميتر الذي طوره ثورنثويت ورفاقه وراديوميتر شولز، وغيرها. ويقيس جهاز غن وبلاني (Gunn-Bellani) الاشعة التي تصل سطح الارض، مهما كانت اطوالها. وهو يقيس الاشعة عن طريق قياس الطاقة التبخيرية للاشعاع الشمسي الذي يبخر جزءا من الماء الموجود في مستودع خاص في الجهاز ثم يتكاثف ذلك البخار في جزء اخر من الجهاز نفسه. وعن طريق قياس كمية المياه المتكاثفة يوميا، يتم تقدير كمية الاشعاع الشمسي التي تصل سطح الارض (شكل ١٠٦).



شكل (١٠٦) جهاز غن وبلاني

ويستخدم لقياس وتسجيل الاشعاع الشمسي المباشر والمنتشر جهاز خاص يعرف بالاكتينوغراف (Actinograph)، وهو يتكون من جهاز حساس يتألف من قطعتين او ثلاث قطع من المعدن، احداهما سوداء تماما، والقطعتين الاخريين مطليتين بطلاء ناصع يعكس الاشعة التي تسقط عليهما. ويوضع الجهاز الحساس داخل قبة بلورية تقيه من الاشعة الارضية والجوية الطويلة ومن الرياح والامطار وغيرها. يتصل الجهاز الحساس بريشة رسم خاصة عن طريق مجموعة من الروافع التي تضخم الفرق في التمدد بين القطعتين بحيث تقوم الريشة برسم تلك الاختلافات بعد تحويلها الى ما يقابلها من الاشعاع الشمسي على ورقة رسم بياني مدرجة تدريبجاً خاصا.



شكل (١٠٧) الأكتينوجراف

قياس درجة الحرارة

تقاس درجة حرارة الجو باستعمال موازيـن حـرارة معينـة توضـع في صنـدوق خشـبي خاص يعرف بكشك الارصاد الجوية، او كشك ستيفنسون. وهو عبارة عـن صنـدوق خشبي مطلي بدهان ابيض، وجيد التهوية، كما انه يوفر الظل اللازم للاجهزة بداخلـه،

فيقيها من تأثير اشعة الشمس المباشرة، كما يقيها من الثلج والمطر وغيرها. ويتراوح ارتفاع الكشك بين ١،٥ - ٢متر، وهو بهذا لا يقيس درجة حرارة سطح الارض، ولا طبقة الهواء الرقيقة الملامسة لها، بل درجة حرارة الجو على ذلك الارتفاع. ويراعي عند تركيب كشك ستيفنسون ان يكون مواجها للشمال.

وأشهر موازين الحرارة هي :

١- ميزان الحرارة العادي (Thermometer):

وهو يتكون من انبوب زجاجي دقيق يوجد في نهايته مستودع مملوء بالزئبق. وعندما تتغير درجة الحرارة، يتغير ارتفاع الزئبق في الانبوب الذي يكون مدرجاً تدريجاً خاصاً.

٢- ميزان الحرارة العظمى:

يمتاز ميزان الحرارة العظمى بوجود اختناق في مجرى الزئبق بحيث يسمح له بالارتفاع الى اعلى، ولكنه يمنعه عندما تنخفض درجة الحرارة من العودة الى اسفل، مما يمكن الراصد من قراءة درجة الحرارة العظمى في أي وقت يشاء.

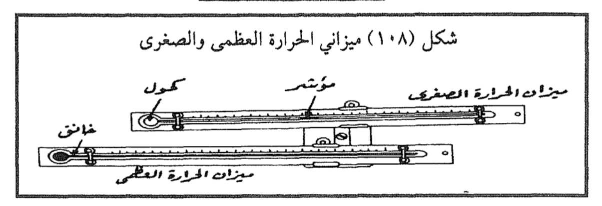
٣- ميزان الحرارة الصغرى:

يستعمل في موازين الحرارة الصغرى الكحول بدلا من الزئبق لان توترها السطحي قليل، ودرجة تجمدها اقل من الزئبق.[1] ويوجد في ميزان الحرارة الصغرى دليل زجاجي او معدني دقيق تدفعه الكحول معها الى اسفل عندما تنخفض درجة الحرارة. اما عندما ترتفع ثانية فان الكحول تندفع من جوانب الدليل دون ان ترفعه معها، فيبقى مشيرا الى درجة الحرارة الصغرى (شكل ١٠٨).

---

(١) تبلغ درجة تجمد الزئبق -٥٣ بينما تبلغ درجة تجمد الكحول - ١١٢ م.

شكل (١٠٨) ميزاني الحرارة العظمى والصغرى

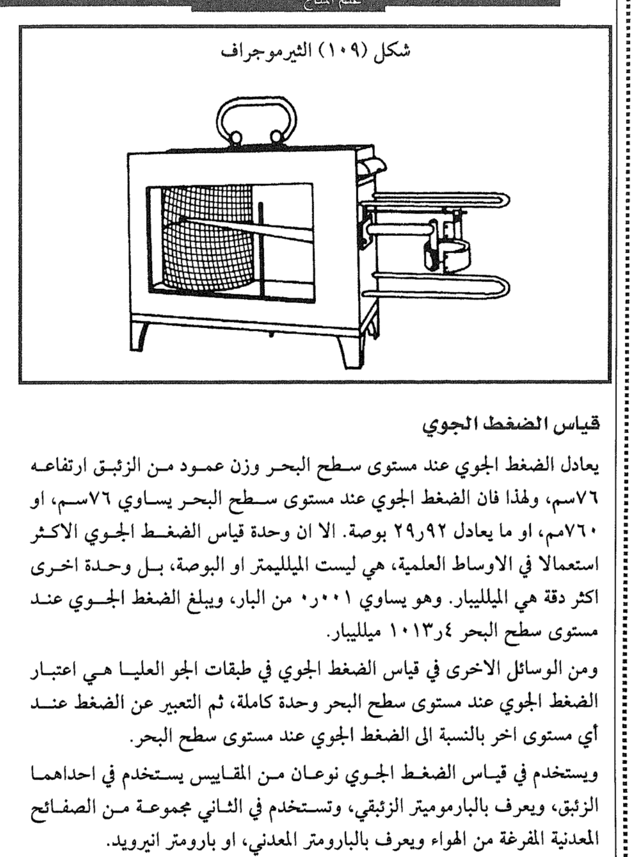


٤- الثيرموجراف او مسجل درجة الحرارة (Thermograph):

ابرز عيوب موازين الحرارة السابقة هي انها تعطي قراءة واحدة لدرجة الحرارة وقت النظر اليها فقط. اما السجل الحراري الكامل لما طرأ على درجة الحرارة من تقلبات خلال اليوم كله، فلا يتم تسجيلها بالرغم من أهميتها القصوى. ولهذا فإن أبرز مزايا الثيرموجراف، هو أنه يقيس درجة الحرارة في كل لحظة من اليوم، ويسجلها على ورقة رسم بياني خاصة مقسمة بطريقة معينة، بحيث تبين المسار اليومي لدرجة الحرارة خلال اليوم.

ويتكون الثيرموجراف من جهاز حساس يتألف من قطعتين معدنيتين ذات معامل تمدد مختلف يتم لحمهما مع ثنيهما. وتكونا مثبتتين من جهة واحدة، بينما تكون الجهة الأخرى حرة الحركة. فإذا ارتفعت درجة الحرارة تمددت القطعتان، وإذا انخفضت فإنهما تنفصلان. وتنتقل حركتهما عن طريق روافع خاصة إلى سن ريشة يرسم حركتهما على ورقة رسم بياني ملفوفة على اسطوانة تدور دورة كاملة كل اسبوع. ونظرا للإحتكاك بين سن الريشة وورقة الرسم البياني، فإن الثيرموجراف أقل دقة من ميزان الحرارة العادي، وإن كان مجال الخطأ لا يتعدى على أية حال درجة مئوية واحدة (شكل ١٠٩).

شكل (١٠٩) الثيرموجراف



قياس الضغط الجوي

يعادل الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر وزن عمود من الزئبق ارتفاعه ٧٦سم، ولهذا فان الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر يساوي ٧٦سم، او ٧٦٠مم، او ما يعادل ٢٩ر٩٢ بوصة. الا ان وحدة قياس الضغط الجوي الاكثر استعمالا في الاوساط العلمية، هي ليست المليليمتر او البوصة، بل وحدة اخرى اكثر دقة هي المليليبار. وهو يساوي ١٠٠٠ر٠ من البار، ويبلغ الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر ٤ر١٠١٣ ميلليبار.

ومن الوسائل الاخرى في قياس الضغط الجوي في طبقات الجو العليا هي اعتبار الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر وحدة كاملة، ثم التعبير عن الضغط عند أي مستوى اخر بالنسبة الى الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر.

ويستخدم في قياس الضغط الجوي نوعان من المقاييس يستخدم في احداهما الزئبق، ويعرف بالبارموميتر الزئبقي، وتستخدم في الثاني مجموعة من الصفائح المعدنية المفرغة من الهواء ويعرف بالبارومتر المعدني، او بارومتر انيرويد.

الباروميتر الزئبقي (Barometer)

تعود الفكرة الأولى في صنع هذا الجهاز الى العالم الايطالي تورشيللي الذي قام لاول مره بقياس الضغط الجوي، مستخدما انبوبا زجاجيا مملوءا بالزئبق، ومقلوبا في وعاء مملوء بالزئبق ايضا. ويعادل الضغط الجوي في هذا الجهاز ارتفاع عمود الزئبق في الانبوب وهو يساوي ٧٦ سم. وما زالت الباروميترات الزئبقية المستعملة حاليا قائمة على المبدأ نفسه، وان كانت قد ادخلت عليها تعديلات كثيرة، لتيسير حملها، واستعمالها، علما بانها ما زالت اكثر دقة من أي نوع اخر من الباروميترات المعدنية.

الباروميتر المعدني (Aneroid Barometer)

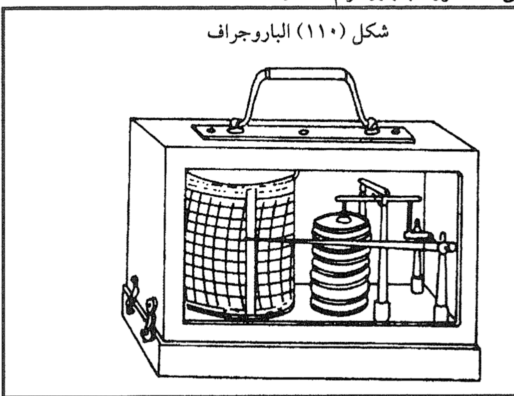
يستعمل في هذا الجهاز بدلا من الزئبق، مجموعة من الصفائح المعدنية الرقيقة والمفرغة من الهواء، فاذا ازداد الضغط عليها انكمشت نحو الداخل، ثم تعود الى وضعها الاول عندما يخف الضغط. ويوضع في داخل هذه الصفائح دعامات خاصة تساعدها على عدم التطبق عندما يزداد الضغط الجوي عليها، وترتبط حركة الصفائح بمجموعة دقيقة من الروافع التي تضخم تلك الحركة، وتنقلها الى مؤشر خاص يبين مقدار الضغط الجوي. وتُصنع الباروميترات المعدنية باحجام مختلفة، لا يزيد حجم معظمها عن ساعة الجيب العادية، الا ان دقتها تعتمد على مدى حساسية الصفائح المعدنية التي تتكون منها. والوسيلة الرئيسة لضبط الباروميترات المعدنية عند بداية استعمالها، هي موازنتها بالباروميتر الزئبقي، كما ان قراءاتها تعدّل ايضا تبعا للتقلبات الحرارية.

الباروجراف او مسجل الضغط الجوي (Barograph)

عندما تكون مجموعة الصفائح في الباروميتر المعدني متصلة بريشة ترسم الذبذبات في الضغط الجوي على ورقة رسم بياني خاصة، فان الجهاز يعرف عندئذ بالباروجراف او مسجل الضغط الجوي(شكل ١١٠). وكما هو الحال في الثيرموجراف، فان ورقة الرسم البياني التي يتم الرسم عليها، تكون ملفوفة على

اسطوانه خاصة تدور دورة كاملة كل ٢٤ ساعة. ويعرف الشكل الذي ترسمه الريشة على تلك الورقة بالباروجرام (Barogram).

شكل (١١٠) الباروجراف



يوضع جهاز الباروجراف مع غيره من اجهزة قياس درجة الحرارة والرطوبة النسبية داخل كشك الارصاد، بعيدا عن تأثير اشعة الشمس المباشرة، ولا تعدل قراءات الباروجراف الى مستوى سطح البحر. ولهذا فانها تبين الضغط الجوي الحقيقي في المكان، علما بان معدل تناقص الضغط الجوي بالارتفاع في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي هو ١٠ ميللبيارات لكل ١٠٠ متر.

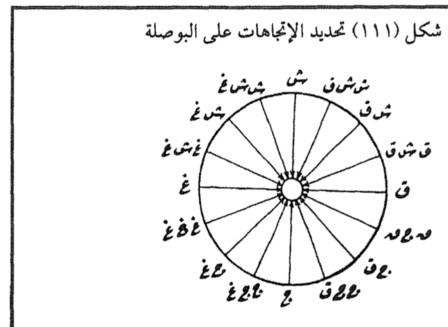
قياس الرياح

يهتم رجال الأرصاد الجوية بقياس اتجاه الرياح وسرعتها، إلا إن اهتمام الجغرافيين بدراسة اتجاهات الرياح يفوق الاهتمام بسرعتها. ولعل الباعث الرئيس في ذلك هو أن التغير في اتجاه الرياح ينتج عن تغير في توزيع الضغط الجوي وفي الحالة العامة للطقس. أما سرعة الرياح، فان أهميتها قليلة ألا إذا تجاوزت حدودا معينة تصبح بعدها خطرا على الزراعة والسكن والمواصلات وغيرها.

اتجاه الريح :

يستخدم بعضهم عند تحديد اتجاهات الرياح الجهات الرئيسة الأربع: وهي الشرق والغرب والشمال والجنوب، إلا أن بعضهم الأخر يستخدم ثمانية اتجاهات بدلا من أربعة، ويستخدم بعضهم الأخر ستة عشر اتجاهاً (شكل ٨). وكلما كان القصد توخي المزيد من الدقة، كان من الضروري استخدام عدد كبير من الاتجاهات (جدول ١١١).

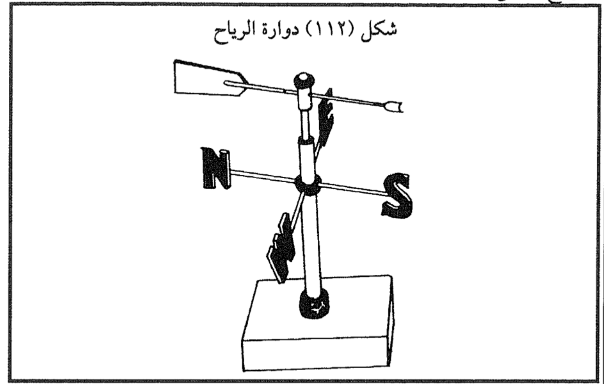
شكل (١١١) تحديد الإتجاهات على البوصلة



وتعرف الرياح باسم الجهة التي تهب منها، وليس باسم الجهة التي تهب اليها، فالرياح الشمالية الغربية هي الرياح التي تهب من الشمال الغربي الى الجنوب الشرقي، وليس العكس. ويستخدم في قياس اتجاه الرياح جهاز خاص يعرف باسم "دوارة الرياح (Wind Vane)" وهو يتكون من سهم معدني خفيف يدور مع الرياح بسهولة، ويشير برأسه الى الجهة التي تهب الرياح منها. ويكون ذلك السهم مركبا على عمود معدني ارتفاعه عشرة امتار، ومثبت عليه اربع اذرع تشير الى الجهات الرئيسة الاربع. ويقاس اتجاه الرياح على ارتفاع عشرة أمتار حتى لا تطغى على الاتجاهات الرئيسية للرياح التقلبات الكثيرة الناتجة عن الاختلافات الدقيقة في طبيعة سطح الأرض.

ويعرف الجهاز الذي يستخدم في قياس اتجاهات الرياح بدوارة الرياح. وقد طرأت كثير من التطورات على دورات الرياح واصبح بعضها مزودا بمولدات كهربائية تحول الذبذبات في اتجاه الرياح الى تيار كهربائي يتم نقله عن طريق اسلاك كهربائية عادية الى داخل غرفة الرصد حيث يبين مؤشر خاص التقلبات المستمرة في اتجاه الرياح (شكل ١١٢).

شكل (١١٢) دوارة الرياح

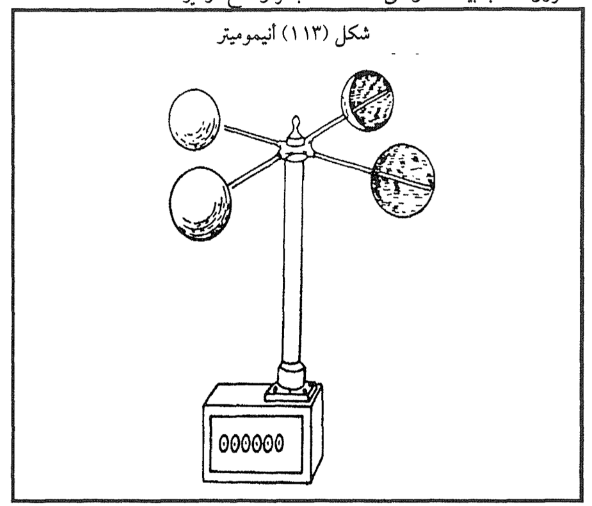


سرعة الرياح:

تختلف سرعة الرياح اختلافا كبيرا من مكان لاخر، ومن وقت لاخر. فالأصل في حركة الرياح هي الزوبعية، او تذبذب السرعة. وتقاس سرعة الرياح عادة بالعقدة في الساعة. ويعرف الجهاز الذي يستخدم في قياسها بالانيموميتر، واشهر انواعه هو جهاز وربنسون ذو الفناجين. وهو يتكون من ثلاثة فناجين مصنوعة من معهدن خفيف ومثبته على اذرع خاصة بحيث تكون متعامدة على محور الجهاز (شكل ١١٣). عندما تهب الرياح فانها تدير الفناجين وتختلف سرعة الدوران تبعا لاختلاف سرعة الرياح. ويقوم سلك كهربائي بنقل تلك الحركة الى عداد خاص يشير الى سرعة الرياح. وفي بعض اجهزة الانيموميتر المتطورة يتم نقل سرعة دوران

الفناجين بمولد كهربائي الى داخل غرفة الرصد. كما توجد اجهزة اكثر تطورا تجمع بين الانيموميتر ودوارة الرياح في جهاز واحد يستطيع ان يقيس سرعة الرياح، ويحدد اتجاهاتها، ويرسم ذلك على ورقة رسم بياني خاصة، ويعرف بالانيموجراف. وهذه الاجهزة عظيمة الاهمية في دراسات المناخ التفصيلي للطبقة السفلى من التروبوسفير القريبة من سطح الارض، لما قد يترتب على الذبذبة في اتجاه الرياح وسرعتها من اثر على انتشار التلوث الجوي، وعلى فعالية رش المزروعات بالمبيدات، وعلى معدلات التبخر والنتح، وغيرها.

شكل (١١٣) أنيموميتر



ويستخدم في بعض الدراسات الميدانية في المناخ التطبيقي بعض اجهزة الانيموميتر اليدوية التي يحملها الراصد باليد، ويقيس بها سرعة الرياح بين البنايات، ووسط المزروعات، وفي الطرقات، وغيرها من الاماكن. ويراعي عندما يختلف الارتفاع

الذي تقاس عنده سرعة الرياح ان تُعدّل تلك القراءات باعتماد جداول خاصة تربط بين تزايد سرعة الرياح في الطبقة السفلي من الجو والارتفاع عن مستوى سطح الارض. ويمكن حساب معامل التعديل من معادلة هيلمان التالية:-

س(ع) مس(١٠) = ٢٣٣٣ر٠+٦٥٦ر٠لو غ(ع+ ٧٥ر٤).

وتمثل س (ع) سرعة الرياح على ارتفاع "ع"، بينما تمثل س (١٠) سرعة الرياح على ارتفاع عشرة امتار، وتمثل "ع" ارتفاع الانيمومتر (١).

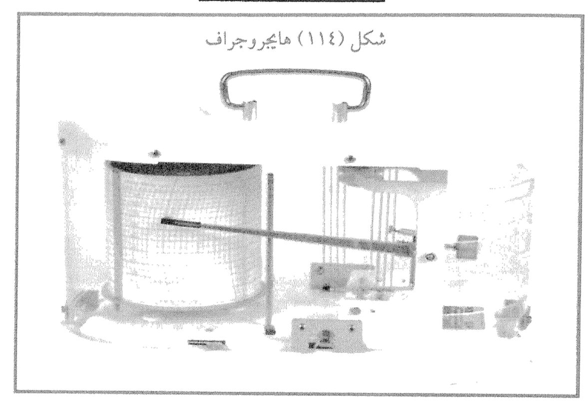
قياس الرطوبة الجوية

تقاس الرطوبة الجوية في المحطات المناخية بميزانين للحرارة، احدهما رطب والأخر جاف. وعن طريق تحديد الفرق بين قراءة الميزانين، يستطيع الراصد الجوي، تحديد الرطوبة النسبية او نقطة الندى، وذلك باستعمال مسطرة خاصة، او باللجوء الى جداول خاصة.

ويوضع ميزانا الحرارة السابقان في كشك ستيفنسون، ويراعي ان تُنظف قطعة القماش التي تبلل مستودع الميزان الرطب باستمرار، والا يستعمل الا مياه مقطرة، خشية تجمع الاملاح والتأثير على معدل التبخر.

ويستعمل في المحطات المناخية جهاز اخر لقياس الرطوبة النسبية وتسجيلها على ورقة رسم بياني خاصة، ويعرف ذلك الجهاز بالهايجراوجراف، وهو جهاز جيد لقياس الرطوبة، الا في بعض الحالات الشاذة، التي ترتفع فيها درجة الحرارة، وتنخفض الرطوبة النسبية، الى حد كبير، وعلى أي حال، فان مجال الخطا في تقديراته، لا يزيد في الاحوال العادية، عن ٣٪ فقط (شكل ١١٤).

شكل (١١٤) هايجروجراف

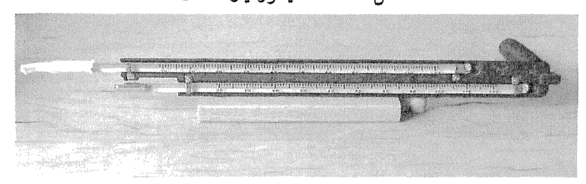


ويستخدم في الدراسات الميدانية جهاز آخر لقياس الرطوبةالنسبية، ويعرف بالسيكروميتر (Psychrometer)، وهو نوعان، السيكروميتر اليدوي (Sling Psychrometer) الذي يستعمل في الولايات المتحدة الأمريكية، وسيكروميتر آسمان (Assman Psychrometer) الذي يستعمل في كثير من أقطار العالم.

ويتكون السيكروميتر من ميزانين للحرارة، أحدهما رطب والآخر جاف (شكل١١٥). والفرق بين السيكروميتر اليدوي وسيكروميتر اسمان هو أن تهوية الجهاز في السيكروميتر اليدوي يتم بتحريكه باليد حركة سريعة، بينما يتم في سيكروميتر آسمان استعمال مروحة كهربائية صغيرة موجودة في الجهاز نفسه، وتستطيع أن تولد حركة في الهواء حول ميزان الحرارة الرطب تصل إلى ٢متر في الثانية. وقد أعدت جداول خاصة لحساب الرطوبة النسبية ونقطة الندى وغيرها من مقاييس الرطوبة، باستعمال قراءات أي من السيكروميتر اليدوي او سيكروميتر اسمان. ويجب، عند استعمال السيكروميتر، ان يترك فترة كافية اثناء التهوية حتى يستطيع ان يقيس درجة الحرارة الجافة والرطبة. وتقدر الفترة الزمنية اللازمة للاستجابة بخمس دقائق. واذا استعمل السيكوميتر اليدوي لقياس الرطوبة في النهار،

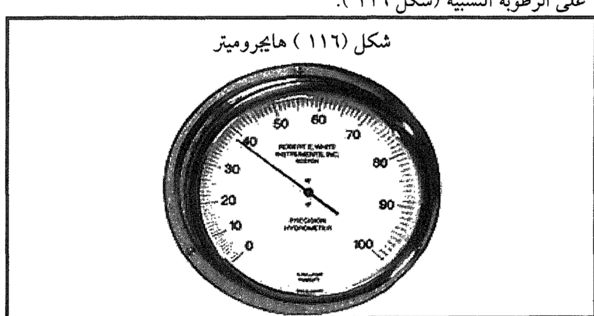
فانه يجب ان يقرا في الظل فقط، خشية تأثره بالاشعاع، بينما يمكن قـراءة سـيكروميتر اسمان في الظل والشمس على حد سواء، لانه مزود بزجاج واق من الاشعة.

شكل (١١٥) سيكروميتر اسمان



ويستخدام لقياس الرطوبة النسبية جهاز آخر يعـرف بالهايجروميـتر (Hygrometer) يعتمد على تمدد خصلة من الشعر الموجودة في الجهاز عندما ترتفع الرطوبة النسـبية وتقلصها عندما تنخفض. تنعكس حركة خصلة الشـعر علـى مؤشـر خـاص يـدل على الرطوبة النسبية (شكل ١١٦).

شكل (١١٦) هايجروميتر



قياس النـدى

يوجد العديد من اجهزة قياس الندى(Dosometers)، ويقوم معظمها على وزن كتلة من التربة المغطاة بالقش في ساعات الصباح الباكر، وتقديـر الزيـادة في وزنـها لمعرفـة

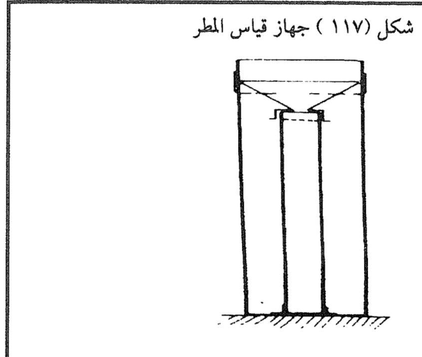
كمية الندى. واكثر تلك الاجهزة دقة هو جهاز طوره كرادوك (Craddock) سنة ١٩٥١، ثم قام جيننغز ومونتيث (Jennings & Monteith) سنة ١٩٥٤، بادخال تحسينات عليه. ويقوم ذلك الجهاز بقياس ترسب الندي على وعاء ملئ بالتربة المغطاة بالقش، ثم يقوم بتسجيل تلك القراءات على ورقة رسم بياني. الا ان هذا الجهاز باهظ الثمن ولا يستعمل كثيرا، واكثر اجهزة قياس الندى شيوعا هو جهاز دفدفاني (Duvdavani) الذي يتكون من قطعة من الخشب مصقولة صقلا خاصا، ومطلية باللون الاحمر، ويبلغ طولها ٣٥سم وسمكها ٥ر٢سم. يترسب الندى على قطعة الخشب باشكال ونماذج خاصة تبعا لطريقة صقلها، وبمقارنة اشكال ترسب الندى على قطعة الخشب مع صور الاشكال المحتملة لترسب الندى، يقوم الراصد بتقدير كمية الندى من جداول خاصة اعدت لذلك. الا ان تلك الجداول لا تعطي عادة تقديرا دقيقا للندى، وانما تقدير تقريبي فقط.

توضع اجهزة قياس الندى على ارتفاع متر من سطح الارض، وان كان دفدفاني قد وجد ان المستوى المفضل لتكون الندى في فلسطين يختلف بين الصيف والشتاء، وتبعا لاختلاف طبيعة سطح الارض، والظروف الجوية السائدة ليلة تكونه. وقد وجد دفدفاني ان المستوى المفضل لتكون الندى في فلسطين ينخفض من متر ونصف في الصيف الى ثلاثة سنتميترات في الشتاء حيث يكون سطح الارض رطباً.

قياس الأمطار

الأمطار هي أكثر عناصر الطقس التي لقيت اهتماما كبيرا في قياسها منذ أقدم الأزمنة، فبعض أجهزة قياس المطر كانت معروفة في الهند منذ القرن الرابع قبل الميلاد. ومقياس المطر العادي جهاز بسيط يتكون من اسطوانة معدنية، او بلاستيكية، طولها ٥٨٠مم، وقطر فوهتها ٢٠٠مم، ويوجد بداخلها قمع يجمع مياه الأمطار في أنبوب قطره ٢٠ مم فقط. ولهذا فان النسبة بين مساحة الأنبوب الذي يتجمع فيه الماء، وفوهة الجهاز الذي تسقط عليه الإمطار هي ١:١٠. وعند قياس المطر المتجمع في الجهاز يفرغ الماء المتجمع في الأنبوب في مخبار مدرج، أو توضع في الأنبوب نفسه مسطرة خاصة مدرجة تبين ارتفاع الماء (شكل ١١٧).

شكل (١١٧) جهاز قياس المطر

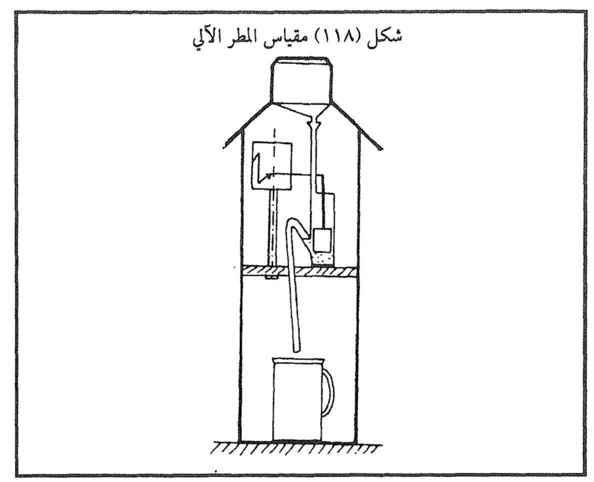


ان العيب الرئيس في مقياس المطر العادي هو انه لا يستطيع ان يقيس بعض الخصائص الرئيسة للامطار، مثل الغزارة، ومدة الهطول، وغير ذلك. وبما ان هذه الخصائص ذات اهمية كبرى في مجال تحليل الامطار، وفي وضع تصاميم السدود والخزانات والعبارات وتقدير انجراف التربة، ومعدل تسرب المياه الى التربة، وغير ذلك من القضايا البيئية المهمة، فان اجهزة الية لقياس وتسجيل الامطار تستعمل في المحطات المناخية الرئيسة الى جانب مقاييس المطر العادية (شكل ١١٨). وعلى الرغم من تعدد اجهز قياس وتسجيل الامطار الا انها جميعا تقوم على اسس محددة اهمها.

١- قياس وزن الماء وتسجيل الاختلاف في الوزن على ورقة رسم بياني خاصة تدور دورة كاملة كل يوم. ويتكون هذا الجهاز من ميزان خاص يقيس الاختلاف في وزن وعاء يتجمع فيه المطر.وينتقل الفرق في وزن الوعاء بمجموعة من الروافع الى سن ريشة يقوم برسمها على ورقة الرسم البياني.

٢- قياس ارتفاع الماء المتجمع في وعاء خاص توجد به عوامة تطفو على سطح الماء. وينتقل التغير في مستوى العوامة الى سن ريشة، يسجلة على ورقة رسم بياني خاصة. وعندما يمتلىء الوعاء، فان الماء ينسكب منه اليا عن طريق سيفون خاص.

شكل (١١٨) مقياس المطر الآلي



٣- يعرف الجهاز الثالث من أجهزة قياس وتسجيل الإمطار، بالمقياس ذو الدلاء. وهو يتكون من دلوين صغيرين، تسع كل واحدة منهما ١/ ٤مم من المطر. فاذا تجمع هذا القدر من الماء، فانها تسكبه، وتعود الى وضعها الاول لتجميع المطر. ويتناوب الدلوان اسفل فوهة وعاء تسقط عليه الإمطار، ويقوم الجهاز بتسجيل عدد المرات التي تسكب الدلاء الماء. وعن طريق ذلك يمكن تقدير كمية الامطار الساقطة وغزارتها (شكل ١١٩). إلا ان أبرز عيوب هذا الجهاز، هو هروب جزء ضئيل من الأمطار دون قياس إثناء عملية تبديل الدلاء، خاصة عندما تكون الامطار غزيرة.

٤- وفي المناطق التي تسقط فيها الثلوج، فان الأجهزة السابقة تصلح لقياسها، بعد ان يُرفع القمع الداخلي والانبوب الصغير، ويذاب الثلج، وتسجل كمية المياه التي تقابله. وابرز الخصائص الرئيسة التي تسجل في سقوط الامطار هي :-

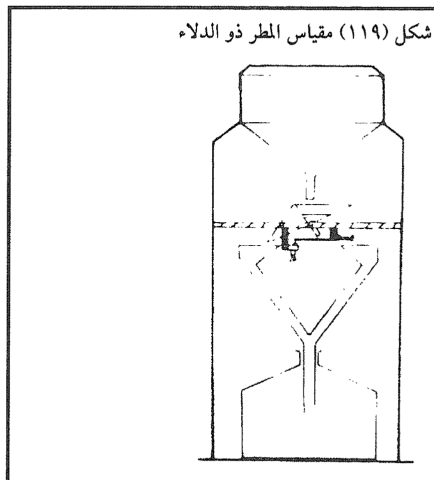
١- كمية المطر التي هطلت خلال ٢٤ ساعة

٢- غزارة المطر.

٣- مدة هطول زخات المطر القصيرة وغزارتها.

٤- عدد الايام الماطرة.

شكل (١١٩) مقياس المطر ذو الدلاء



قياس الثلج

نهتم، عند قياس الثلج، بمعرفة سمك الغطاء الثلجي من جهة، وكثافة الثلج من جهة أخرى. ويتم قياس سمك الثلج بسهولة كبيرة عن طريق استخدام عصا مدرجة توضع في الثلج. ويقاس ارتفاعه في ثلاثة مواضع منبسطة، ثم يؤخذ معدل تلك المواضع.

أما كثافة الثلج، فتختلف كثيرا من وقت لآخر، ومن عاصفة لأخرى. فـإذا كـانت درجة الحرارة منخفضة، فان الثلج يكون خفيفا، ونسبة ما يساويه مـن المـاء قليلـة. أما بعد ان يبدأ في الذوبان، فان كثافتـه تـأخذ في الارتفـاع، حتـى تصـل في بعـض الاحيان الى ٥٠٪. وفي الحالات التي يتراكم فيها الثلج عدة ايام، فان كثافتـه تـزداد حتى لو لم يكن قد بدأ في الذوبان، خاصة وان تراكم طبقات من الثلج فوق بعضها بعضا، يجعله متراصا وكثيفا. وقد وجد ولسون ان كثافة الثلج تتراوح في العادة بين ٣٪الى ٣٠٪. ويمكن القول ان المعدل العام لكثافـة الثلـج تـتراوح بـين ٨٪ الى ٩٪ فقط. والحقيقة ان التوزيع التكـراري لكثافـة الثلـج توزيـع شـديد الميـلان (Very Skewed)، والمدى (Range) فيه كبير جدا، مما يجعل من المستحسن ان تُقاس كثافة الثلج، من قبل الراصد في الميدان. ولهذا فانه عند قياس الثلج بمقياس المطر العادي، يقوم الراصد بإذابة الثلج المتجمع في الجهاز ويصبـه في المخبـار المخصـص لقيـاس المطر حتى يعرف كثافته.

قياس التبخر

يقاس التبخر (Evaporation) بمعرفة حجم الماء الذي يتبخر من الوحـدة المسـاحية الواحدة خلال مدة زمنية معينة، مثل يوم، او عشرة أيام، او شـهر كـامل. واجـهزة قياس التبخر من المسطحات المائية والتربة كثيرة جدا، ولكننا سنناقش اشهرها فقط وهو جهاز بيشه، وحـوض التبخـر (أ) اللـذان يسـتخدمان في قيـاس التبخـر مـن المسطحات المائية.

جهاز بيشه:

يعتبر جهاز بيشه من اسهل الاجهزة المستخدمة في قيـاس التبخـر. وهـو عبـارة عـن انبوب زجاجي رفيع مفتوح من جهة، ومغلق من الجهة الاخرى. ويبلغ طوله ٥ر٢٢ سم، ولا يزيد قطره الداخلي عن ١١ مم، والخـارجي عـن ١٤ مـم (شـكل ١٢٠). وعند استخدام الجهاز في قياس التبخر، يملأ بالماء، ويوضع على الجهة المفتوحة ورقـة نشاف خاصة يبلغ قطرها ٢ر٣ سم، ومساحتها ١٣سم٢. ثم يُقلـب الجـهاز، بحيث

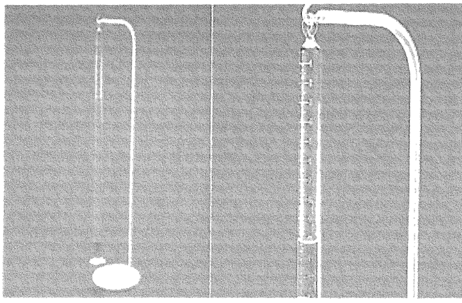
تكون ورقة النشاف واقعة في الجزء الاسفل منه، ويتم تزويدها باستمرار بالماء لتعويض التبخر منها.

وقد جرت العادة ان يوضع جهاز بيشي داخل كشك ستيفنسون، وان تتم قراءته كل يوم، وان تُضاف اليه كمية الماء التي تبخرت منه يوميا. والحقيقة ان استخدام هذا الجهاز في المحطات المناخية شائع كثيرا، الا انه لا يعطي، في الواقع، الا نتائج تقريبية. فهو شديد الحساسية لاي ذبذبة في سرعة الرياح، كما ان وضعه داخل الكشك يضعف من تاثير اشعة الشمس المباشرة على عملية التبخر منه. ومن المساوىء الاخرى في هذا الجهاز انه سهل الكسر، كما ان سرعة تراكم الاوساخ على ورقة النشاف يجعل قراءته غير دقيقة. ومع ذلك فانه يتمتع ببعض المميزات المهمة مثل صغر حجمه، ورخص ثمنه، مما يجعل من الممكن استخدام اعداد كبيرة منه في الدراسات التفصيلية.

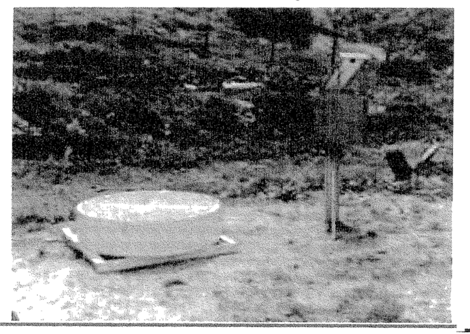
حوض التبخر (أ) Class " A" Pan

تُوضع بعض الاحواض على سطح الارض، بينما يغمر بعضها في التربة، ويوضع بعضها الاخر طافيا على سطح الماء. واكثر احواض التبخر شيوعا هو حوض التبخر (أ) الذي يُستخدم في الولايات المتحدة والعديد من الدول الاخرى. وهو حوض دائري الشكل، قطره ١ر٢٢ مترا، وعمقه ٤ر٢٥سم. ويوضع على قاعدة خشبية سمكها ١٥سم (شكل ١٢١). وفي العادة فان حوض (أ) يُصنع من الحديد، ويكون مدهوناً بدهان ابيض. ويملأ بالماء حتى ارتفاع ٥سم من حافته العليا. ويُقاس التبخر منه اما بمقياس خاص لارتفاع الماء، او باعادة ملئه حتى المستوى السابق وقياس كمية الماء التي تمت اضافتها. ويوضع بجانب الحوض في المحطات المناخية مقياس للمطر وجهاز لقياس سرعة الرياح لا يزيد ارتفاعه عن ٦١ سم. وفي الايام الماطرة، فان التبخر من الحوض يساوي مجموع النقص في منسوب المياه، مضافا اليه معدل المطر في ذلك اليوم.

شكل (١٢٠) جهاز بيشه لقياس التبخر



شكل (١٢١) حوض التبخر ٢



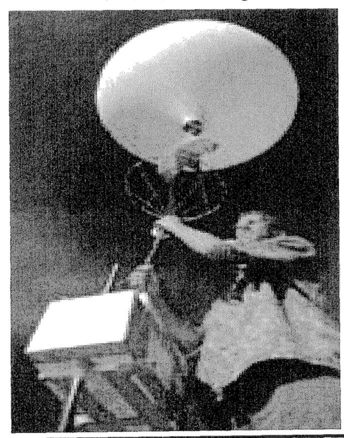
عمليات الرصد العلوي

أبرز أجهزة الرصد العلوي هما الراديوسوند والأقمار الإصطناعية.

الراديوسوند (Radiosonde)

يتكون جهاز الراديوسوند من صندوق يحتوي على عدد من أجهزة الرصد مثل اجهزة قياس الضغط الجوي، ودرجة الحرارة، والرطوبة. كما أن فيه جهاز إرسال يستطيع ان يبعث بالمعلومات التي يجمعها مباشرة إلى سطح الأرض. ويحمل منطاد مليء بالهيليوم او بغاز الهيدروجين جهاز الراديوسوند إلى أعلى (الشكل ١٢٢). وعندما يصل المنطاد إلى أقصى ارتفاع له، فانه ينفجر، ويهبط جهاز الراديوسوند إلى الأرض بمظلة خاصة.

شكل (١٢٢) الراديو سوند



بدأ استخدام الراديوسوند - لأول مرة - عام ١٩٣٧، وانتشر استعماله منذ ذلك التاريخ، خاصة وانه لا يعاني من كثير من العيوب التي تعاني منها الوسائل الأخرى للرصد العلوي، كما ان مجالات الخطأ في قياساته قليلة. فهي لا تزيد في مجال الضغط الجوي عن ثلاثة ميلليبارات حتى مستوى ٥٠٠ ميلليبار، وتتناقص الى ٥ر١ ميلليبار عند مستوى ١٠٠ ميلليبار. ولا يزيد مجال الخطأ فيه - عند قياس درجة الحرارة - عن نصف درجة مئوية حتى ارتفاع ٣٠٠٠م. ويتراوح في المستويات الاعلى من ذلك بين نصف درجة إلى درجة ونصف.

الاقمار الاصطناعية (Meteorological Satellites)

أطلق أول قمر اصطناعي - مخصص لجمع البيانات عن حالة الجو في الطبقات العليا - في شهر نيسان سنة ١٩٦٠. وقد أطلق عليه اسم (TIROS-1). وتبعة بعد ذلك عدد من الاقمار الأخرى ضمن سلسلة تيروس، قبل ان تتلوها سلسلتان اخريان من الاقمار الاكثر تطورا وهما (NIMBUS) و(Tos).

ويمكن تصنيف البيانات التي تقدمها لأقمار الاصطناعية إلى خمسة أصناف، هي:

١- صور للسحب والامطار تغطي مساحات شاسعة من سطح الارض.

٢- بيانات عن الاشعاع الشمسي والارضي، وعن التوازن الاشعاعي لسطح الارض والغلاف الجوي.

٣- بيانات عن الضغط الجوي، ودرجة الحرارة، وكثافة الهواء في الجو المحيط بالقمر نفسه.

٤- بيانات عن حركة الرياح في المنطقة المحيطة بالقمر مباشرة.

٥- ويمكن ان يستنتج بوسائل غير مباشرة تعتمد على بيانات يتم جمعها من القمر نفسه معلومات عن درجة حرارة سطح الأرض، والجزء الأسفل من الغلاف الجوي. كما يمكن استنتاج بيانات أخرى عن النطاقات الرئيسة للرياح والحركات الرأسية الواسعة في الغلاف الجوي والموازنة الحرارية لسطح الأرض والتوزيع الرأسي لغاز الأوزون.

وقد بدأ سنة ١٩٦٧ استعمال بعض الأقمار الاصطناعية التي تبقى ثابتة في مواضعها في الجو ولا تتحرك الى موضع اخر الا بتعليمات محددة من المحطة الارضية. ولا شك ان مثل هذه الاقمار تشكل محطات رصد ثابتة تستطيع ان تغطي بصورها مساحات شاسعة من سطح الأرض. ومع ذلك فان المعلومات التي تجمعها الأقمار الاصطناعية، وبالرغم من أهميتها، فإن فائدتها في عمليات التنبؤ الجوي، فائدة محدودة. إذ ما تزال تلك العمليات تحتاج الى بيانات اخرى، لا تجمعها الاقمار الاصطناعية، مثل سرعة الرياح ونسبة الرطوبة، ودرجة الحرارة، والضغط الجوي، ضمن مقطع راسي في الغلاف الجوي، وعبر مساحات كبيرة من سطح الارض.

الفصل السابع عشر

جمع البيانات المناخية باستخدام شبكة الانترنيت

مواقع الطقس والمناخ على شبكة الانترنيت

أشرنا في مقدمة هذا الكتاب إلى الثورة الكبرى التي أحدثتها شبكة المعلومات الدولية "الانترنيت" في مجال الدراسات المناخية. وذكرنا أن مئات التقارير العلمية تصدر في كل شهر عن أكبر مراكز البحث العلمي في العالم، وأن تلك التقارير تعالج شتى الموضوعات المناخية معتمدة على أحدث البيانات والمعلومات. وإذا كان الاعتماد على الانترنيت قد أضحى أمراً لا غنى عنه للعلماء والباحثين في مجال المناخ والأرصاد الجوية، فإن من الضروري أن يتدرب الطلبة على استخدامها، شأنها في ذلك شأن المكتبة، بل إن ما بها من معلومات يفوق أحياناً ما هو متوفر في بعض المكتبات.

والحقيقة أن المواقع الرئيسة (Primary Sites) المخصصة للمناخ والطقس على شبكة الانترنيت كثيرة ومتنوعة، ولا يتسع المجال هنا لذكرها وبيان ميزاتها ونوع البيانات والمعلومات التي تقدمها. يضاف إلى هذا أن كل موقع منها يتضمن في الأغلب عدداً من المواقع الثانوية الأكثر تخصصاً، كما أن المواقع الثانوية نفسها تتضمن مواقع ثانوية خاصة بها. ولذا، فإننا سنكتفي في هذا المجال بتقديم بعض المواقع الرئيسة وذكر بعض المواقع الثانوية. وأهم المواقع الرئيسة هي :

- **مواقع المناخ والأرصاد الجوية ذات الأهمية المناخية**

يتضمن هذا الموقع الرئيس عدداً كبيراً من المواقع الثانوية التي تمثل بالدرجة الأولى مراكز بيانات ومراكز بحوث وتنبؤات جوية وأهمها:

- المركز البريطاني للبيانات الجوية

- المركز البريطاني للطقس
- مركز كمبردج للعلوم الجوية
- المحطة الفضائية (NERC) في دندي
- مركز ريدنج لصور الطقس المأخوذة بواسطة الاستشعار من بعد
- مركز التغير المناخي في وكالة الفضاء الأمريكي (NASA)
- المركز الأمريكي للتنبؤات المناخية العالمية (NOAA)
- المؤتمر الدولي للتغير المناخي

١. مواقع الاتصال المناخية

(http://www.Oranim.macam98.ac.il/geo/climate.html)

يتضمن هذا الموقع عدداً كبيراً من المراكز الثانوية، أهمها :

- كيف يعمل الطقس
- كيف يؤثر المناخ علينا
- خرائط الطقس
- معاجم المصطلحات المناخية
- أنواع السحب
- السحب من الفضاء
- الأعاصير المدارية
- الأقاليم المناخية
- المناخ والايكولوجيا
- الاحتباس الحراري
- الاحتباس الحراري
- التغير المناخى

٢- منظمات الأرصاد الجوية

(http://www.wmo.ch/web/arep/li1/meteo.html)

يتضمن هذا الموقع عدداً من المواقع الفرعية الخاصة ببعض منظمات وجمعيات الأرصاد الجوية المشهورة مثل :

- الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية
- الجمعية الكندية للأرصاد الجوية
- مركز الأرصاد الجوية وعلوم البحار (MIT)
- مركز دراسة الأرصاد الجوية بالأقمار الصناعية
- المركز الهولندي للأرصاد الجوية
- المنظمة الأوروبية لصور الأقمار الاصطناعية (EUMETSAT)
- الوكالة اليابانية للأرصاد الجوية(JMP)

٣. أهم مراكز المناخ والأرصاد الجوية

(http://www.wmo.ch/web/arep/lib1/climax.html)

يتضمن هذا الموقع عدداً من المواقع الثانوية الخاصة بأهم مراكز المناخ والأرصاد الجوية في العالم مثل :

- مركز التنبؤات المناخية الأمريكي (NOAA)
- مركز هيدلي لبحوث والتنبؤات المناخية
- مركز التنبؤات والتقلبات المناخية (CLIVAR)
- وحدة البحوث المناخية في جامعة ايست انجليا البريطانية
- البرنامج العالمي للبحوث المناخية
- المركز العالمي لبيانات الإشعاع الشمسي

٤- المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (http://www.wmo.ch/)

يتضمن هذا الموقع عدداً من المواقع الثانوية الخاصة بما يأتي :

- تعريف بمنظمة الأرصاد الجوية العالمية
- المركز الإعلامي الخاص بما يصدر عن المنظمة من إعلانات وبيانات وأخبار.
- الخطة طويلة المدى للمنظمة (١٩٩٦ - ٢٠٠٥)

- منشورات المنظمة.

- البرامج الرئيسة للمنظمة مثل برنامج الأرصاد العالمي والبرنامج المناخي العالمي.

٥- محطة الأرصاد الجوية (http://www.weather.com/weather/)

تقدم هذه المحطة نشرات جوية مدتها ثلاثة أيام لمعظم المدن الرئيسة في العالم، كما تقدم مع تلك النشرات صوراً فضائية للغيوم وخرائط طقس سطحية يتم بثها كل يوم الساعةالثانية عشرة ظهراً بتوقيت جرينتش.

٦- الأعاصير المدارية (http://www.solar.ifa.hawaii.edu/tropical/tropical.html)

يقدم هذا الموقع بيانات ومعلومات عن الأعاصير المدارية التي تؤثر على أي مكان في العالم كما يقدم ملخصات عن مسارات تلك الأعاصير خلال السنة الحالية وخلال السنوات الماضية، كما يقدم نبذة عن مدى دقة التنبؤات التي رافقت كل منها.

٧- المصطلحات الخاصة بالأعاصير المدارية وأعاصير الهاريكين

(http://www.familyville.com/aricles/weather/term.shtml)

٨- الولايات المتحدة اليوم للطقس(USA Today :Weather)

(http://www.usatoday.com/weather/wworkso.htm)

يتضمن هذا الموقع معالجة جيدة وشرحاً مبسطاً لكل ما يتعلق بالغلاف الجوي والظواهر الجوية. ومن أهم المواقع الثانوية فيه موقع اسمه (ASK JACK)، وعنوانه :

(HTTP://WWW.USATODAY.COM/WWEATHER/ASK\JASK/WFAQ O.HTM).

ويتضمن هذا الموقع إجابات على معظم الأسئلة التي تهم الطلبة والباحثين في مختلف موضوعات الطقس.

(٩) مواقع الظواهر المناخية الرئيسة على شبكة الانترنيت

أبرز الظواهر المناخية على شبكة الانترنيت هي التغير المناخي والنينو وتآكل طبقة الأوزون. وبالرغم من وجود صفحة خاصة بكل واحدة من تلك الظواهر (Theme homepage)،الا أنه توجد مواقع أخرى كثيرة أهمها :

(٩-١) المواقع الخاص بظاهرة التغير المناخي (Climatic Change theme page)

توجد مواقع كثيرة على شبكة الانترنيت تقدم تقارير علمية وتفصيلات منوعة عن ظاهرة التغير المناخي. هذا فضلاً عن الصفحة الخاصة بظاهرة التغير المناخي التي تتضمن عدداً كبيراً من المواقع الخاصة بظاهرة الاحتباس الحراري (Temperature Ibversion). وأهم مواقع ظاهرة الاحتباس الحراري على شبكة الانترنيت هي:

- رزمة معلومات خاصة بالتغير المناخي **Climate Change Information Kit** :

تتضمن هذه الرزمة خمسة فصول رئيسة تعالج موضوعات في التغير المناخي ونتائجه، والمؤتمرات المناخية المخصصة لبحث التغير المناخي والحد منه، وسبل التحكم في معدلات انبعاث الغازات الدفيئة (Greenhouse Gas Emissions)، فضلاً عن فصل خاص ببيانات مناخية تتعلق بظاهرة التغير المناخي.

- دليل الاتفاقية الدولية الخاصة بالتغير المناخي:

(http://www.unep.ch/iuc/submenu/begin/beginner.htm)

يتضمن هذا الدليل شرحاً تفصيلياً مبسطاً للنتائج المتوقعة لظاهرة التغير المناخي ولبنود الاتفاقية الدولية التي تم توقيعها عام ١٩٩٢ الخاصة بالإجراءات التي اتفقت الدول الموقعة على الاتفاقية على تطبيقها بغية الحد من انبعاث الغازات الدفيئة التي تسبب التغير المناخي العالمي. وقد وقع على تلك الاتفاقية ١٦٥ دولة وبدأ تنفيذها منذ ٢١ مارس عام ١٩٩٤.

- النص الكامل لاتفاقية كيتو بشأن التغير المناخي

(wysiwyg://main.66/http://www.cop3.de/fccc/climate/conv.htm)

يتضمن هذا الموقع النص الكامل لاتفاقية كييتو بشأن التغير المناخي.

- الكتاب التمهيدي للتغير المناخي

(http://www.doe.ca/climate/primer/sec-1.htm)

يقدم هذا الموقع كتاباً متكاملا عن ظاهرة التغير المناخي صادر عن دائرة البيئة الكندية. ويتضمن فصولا في المناخ وطبيعة التغير المناخي وأسبابه ومظاهره ونتائجه المتوقعة مناخياً وبيئياً.

(٩-٢) الصفحة الخاصة بظاهرة النينو

(http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/el-nino/home.html)

لم تكن ظاهرة النينو حتى عام ١٩٨٨ تحظى من العلماء بأي اهتمام، ولكن نينو ١٩٨٨ كان مدمراً وخلف وراءه دماراً واسعاً في مناطق مختلفة من العالم. وقد جاء نينو ١٩٩٧/ ١٩٩٨ أقوى من نينو ١٩٨٨ وأشد تأثيراً. وكانت التوقعات بحدوث ذلك النينو في غاية الدقة نتيجة للبيانات التفصيلية التي كانت ترسلها في كل لحظة مجموعة من الأقمار الصناعية الأمريكية والبريطانية والفرنسية واليابانية إلى مراكز البحث العلمي في الدول الغربية وفي الولايات المتحدة. ولهذا فقد كثرت على شبكة الانترنيت المواقع التي تتناول بالتفصيل تطور ظاهرة النينو في المحيط الهادئ وتتبع استمرار نتائجها على المناخ والطقس في مناطق مختلفة من العالم. وقد كانت معظم تلك التقارير يتم تحديثها في كل شهر.

وتتضمن الصفحة الخاصة بالنينو على شبكة الانترنيت مواضيع متعددة ومعلومات وبيانات حديثة عن نينو ١٩٩٧/ ١٩٩٨، كما تتضمن توقعات خاصة به، ودليلا للمواقع التي تتوفر فيها بيانات خاصة به.

(١٠) المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

يتطلب رسم أي خريطة سطحية للطقس (Synoptic Chart)، وتحديد معالمها الرئيسة مثل توزيع الضغط الجوي، ومواقع الكتل الهوائية والجبهات، والتجاهات

الرياح وسرعتها وأماكن سقوط الأمطار وغزارتها، وغيرها من عناصر الطقس كماً هائلاً من البيانات اليومية التي يتم تحديثها عدة مرات في اليوم. ومما يزيد الأمر تعقيداً أن الظواهر الجوية لا تعرف الحدود السياسية، ولا تتوقف عندها، كما أن بعضها كالكتل الهوائية، والجبهات الجوية يمتد أحياناً فوق دول عدة، مما يجعل من المستحيل توفير البيانات اللازمة لرسم خريطة الطقس من داخل الدولة نفسها، ويحتم وجود تعاون بين الدول لتبادل تلك البيانات.

ولعل مثال آخر يساعد في توضيح أهمية التعاون الدولي في مجال الأرصاد الجوية، فأية طائرة لا يمكن أن تقلع، وأية سفينة لا يمكن أن تبحر، ما لم يتم تزويدها بخريطة طقس خاصة توضح حالة الجو في كل المناطق التي تمر فيها. ويتطلب الأمر في حالة الطيران رسم خريطة خاصة بحالة الطبقات الجوية العليا التي تحلق فيها الطائرة. وبما أنه ليس في مقدور معظم دول العالم امتلاك أقمار صناعية خاصة بها لمراقبة الطقس، بل إن دولاً معدودة لديها القدرة والرغبة في إطلاق أو امتلاك تلك الأقمار، فإن من الضروري أن تلجأ الدول الأخرى لها للحصول على تلك البيانات.

ولهذه الأسباب وغيرها، أنشأت دول العالم عام ١٩٥٠ منظمة الأرصاد الجوية العالمية (World Meteorological Organization " WMO") التي تعد بجدارة من أكثر المنظمات التابعة للأمم المتحدة نشاطاً. يقع المركز الرئيس لهذه المنظمة في سويسرا، ومنذ عام ١٩٩٦ أصبحت هذه المنظمة تضم في عضويتها ١٨٥ بلداً (١٧٩ دولة مستقلة وست مناطق أخرى) لكل منها دائرة أرصاد جوية خاصة به. ويمكن تلخيص رسالة هذه المنظمة في تنسيق التعاون بين دول العالم قاطبة في مجالات الأرصاد الجوية بحيث يصبح ممكناً وبالسرعة القصوى توفير بيانات دقيقة وحديثة عن حالة الطقس السائد والمتوقع لأي مكان في العالم وتوصيل تلك البيانات إلى الجهات المعنية الرسمية والخاصة.

وتشمل نشاطات المنظمة التنسيق بين الدول في المجالات التالية :

- إنشاء وتطوير شبكات الأرصاد الجوية والهيدرولوجية.
- الاسراع في تبادل البيانات والمعلومات.

- توحيد مواصفات أجهزة الرصد الجوي وعمليات القياس.
- نشر الإحصاءات والبيانات المتعلقة بالطقس.
- تطوير استخدام الأرصاد الجوية في مجالات الطيران والنقل البحري والهيدرولوجيا.

ولتسهيل عملية تبادل البيانات والمعلومات، فقد تم تقسيم دول العالم ست مجموعات إقليمية رئيسة هي : أفريقيا، آسية، أمريكا الجنوبية، أمريكا الشمالية والوسطى، جنوب غرب المحيط الهادئ، وأوروبة. وتتكون كل مجموعة من تلك المجموعات الرئيسة من عدة مناطق ثانوية تظهر في خرائط الطقس على هيئة أرقام معينة.

وتضم منظمة الأرصاد العالمية عدداً من الدوائر الفنية المتخصصة في مجالات محددة كالأرصاد الزراعية والعلوم الجوية والمناخ والهيدرولوجيا والأرصاد البحرية وغيرها. ويتبع للمنظمة عدد من البرامج العالمية مثل برنامج الرصد العالمي، والبرنامج العالمي للمناخ وغيرها. ولأن برنامج الرصد العالمي (World Weather Watch" WWW") يشكل في الواقع العمود الفقري لنشاطات المنظمة، فسنخصه دون غيره، بشيء من التفصيل.

تتلخص المهمة الرئيسة لهذا البرنامج في توفير أحدث البيانات المتعلقة بحالة الطقس وتقديمها لكل من يحتاجها بأقصى سرعة ممكنة وبأكفأ وسيلة متاحة. وفي سبيل ذلك يقوم هذا البرنامج بالتنسيق بين مختلف دول العالم في مجال جمع وتبادل المعلومات. ويبلغ عدد محطات الرصد البرية المنضوية ضمن هذا البرنامج ١٠٠٠٠ محطة موزعة في مختلف دول العالم. يضاف اليها ٧٠٠٠ محطة بحرية و٣٠٠ محطة آلية قائمة على عوامات بحرية خاصة. كما يتبع لهذا البرنامج ثمانية أقمار اصطناعية مخصصة للرصد الجوي ثلاثة منها تسير في مسارات قطبية (بين القطبين)، وخمسة أقمار ثابتة أي موجودة في مسارات استوائية.

الفصل الثامن عشر

الرسومات والخرائط المناخية

أولا : خطوط تساوي الحرارة (Isotherms)

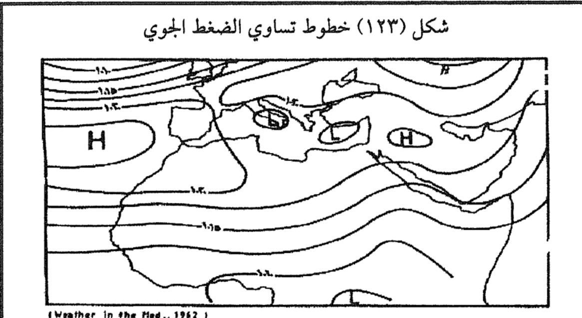
تظهر في خرائط المناخ أحياناً خطوط تعرف باسم خطوط تساوي الحرارة وهي خطوط وهمية تصل بين الأماكن التي تتساوى فيها درجة الحرارة. فخط الحرارة ٢٠° يصل بين الأماكن التي تكون درجة حرارتها ٢٠° م. وخط الحرارة ٢٢° م يصل بين الأماكن التي تكون درجة حرارتها ٢٢° م. ويتم رسم هذه الخطوط عادة عن طريق تحديد درجة الحرارة في عدد كبير من الأماكن، ثم رسم خطوط تصل بين الأماكن التي تتساوى فيها درجة الحرارة. ويتبع هذا الأسلوب نفسه في رسم كل خطوط التساوي (Isolines)، وليس في رسم خطوط تساوي الحرارة فقط، بل في الأمطار والضغط الجوي وغيرها من عناصر المناخ. والقاعدة العامة عند رسم خطوط تساوي الحرارة أن تُعّدل درجات الحرارة لتي يتم قياسها فعلياً في المحطة المناخية قبل استعمالها في الرسم لكي تمثل درجة الحرارة عند مستوى سطح البحر. فإذا كان مستوى المحطة المناخية أعلى من مستوى سطح البحر، فإن درجة حرارتها تعدل إلى مستوى البحر على أساس أن درجة الحرارة تتناقص بالارتفاع بمعدل ٦٤ ,٠° م لكل ١٠٠ متر أو ١° م لكل ١٥٠ متراً. أما إذا كان مستوى المحطة يقع دون مستوى سطح البحر، فان التعديل يتم على أساس أن درجة الحرارة تزداد بمعدل ٦٤ ,٠° لكل ١٠٠ متر. والحكمة من تعديل درجات الحرارة الفعلية عند استعمالها في رسم خطوط الحرارة المتساوية هي التخلص من تأثير التضاريس على خريطة توزيع الحرارة. إلا أن مثل هـذه الخرائط وأن كانت ذات فائدة كبيرة في تحديد أثر العوامل الأخرى في التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة إلا أن فائدتها

الجغرافية محدودة. ولهذا فإن درجة الحرارة لا تعدل إلى مستوى البحر عند استعمالها في رسم خرائط إقليمية أو محلية، بل تستعمل كما هي، وان كان هذا يضفي على توزيعها الجغرافي شيئاً من التعقيد بسبب التباينات في الارتفاع.

ثانيا: خطوط تساوي الضغط الجوي (Isobars)

ويتم تمثيل التباين الأفقي للضغط الجوي في خرائط الطقس برسم خطوط وهمية تصل بين الأماكن التي يكون الضغط فيها متساويا، وتعرف بخطوط تساوي الضغط(Isobars). وهي بهذا تشبه خطوط تساوي الحرارة وغيرها من خطوط التساوي (isolines) التي تستعمل في الخرائط المناخية. إلا أن لخطوط تساوي الضغط أهمية خاصة في تحليل خرائط الطقس (synoptic charts) والتنبؤ الجوي. والسبب الرئيس لذلك هو أن تلك الخطوط ترتبط ارتباطا مباشرا بسرعة الرياح واتجاهها، وتكّون الجبهات والمنخفضات الجوية، وغير ذلك من عناصر الطقس المهمة (١٢٣).

شكل (١٢٣) خطوط تساوي الضغط الجوي



ثالثا: وردات الرياح (Wind Roses)

تعتبر وردات الرياح من أبرز الوسائل الكارتوغرافية المتبعة في تمثيل اتجاهات الرياح وسرعتها. وتمثل المحطة المناخية في وردة الرياح بدائرة تكتب في داخلها النسبة المئوية

لعدد الرصدات التي كانت الرياح فيها هائدة، بينما يتم تمثيل الرياح التي تهب من أي اتجاه برسم خط يشع من الدائرة الى ذلك الاتجاه. وتقدر نسبة هبوب الرياح من أي اتجاه باستخدام مقياس رسم خاص يمثل النسبة المئوية لهبوب الرياح من ذلك الاتجاه.

وقد تعددت الاساليب الكارتوغرافية المتبعة في رسم وردات الرياح وان كانت المبادىء الاساسية لها جميعا واحدة واهم الخطوات المتبعة في رسم وردة رياح بسيطة هي:

١- عمل توزيع تكراري لعدد المرات التي هبت فيها الرياح من كل اتجاه.

٢- تحويل تكرارات هبوب الرياح من الاتجاهات المختلفة الى نسب مئوية (جدول١٧).

جدول (١٧) جدول تكراري لهبوب الرياح من اتجاهات مختلفة

في مطار عمان خلال شهر كانون الثاني للفترة ١٩٥٦- ١٩٦٤

الاتجاه	ش غ	غ	ج غ	ج	ج ش	ق	ش ق	ش	هدوء
النسبة المئوية	٢٥,	٢١٦,	٢٠٨,	٤١,	١٨,	٢٣,	٢٩,	٢٩,	٤١٢,

٣- استخدام مقياس رسم معين في تمثيل تلك النسب على الوردة. فلو استخدمنا مقياسا معينا هو ٢ ملم لكل ١٪ من هبوب الرياح وكانت نسبة هبوب الرياح من الجنوب هي ١ر٤ فان طول الخط الذي يمثل تلك النسبة هو ٢ر٨ ملم.

٤- رسم دائرة صغيرة تمثل المحطة المناخية يكتب في داخلها النسبة المئوية لسكون الرياح، ثم رسم خطوط مستقيمة يشير كل منها الى الجهة التي تهب منها الرياح (شكل٧٣).

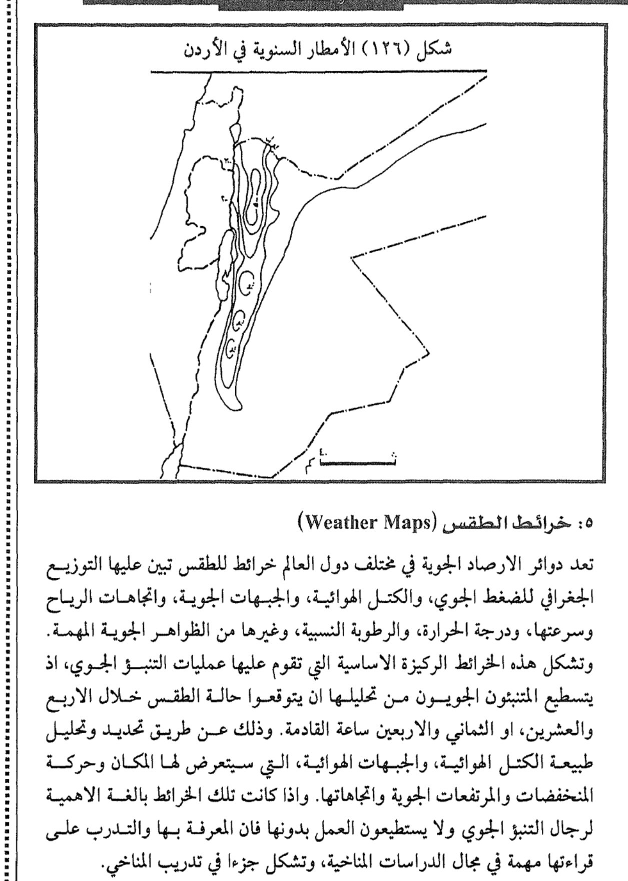
٥- واذا اردنا رسم وردة مركبة لا تمثل اتجاهات الرياح فحسب بل وسرعتها ايضا فاننا نصنف الرياح من أي تجاه الى فئات حسب السرعة ضمن حدود معينة للسرعة ونقوم بتجزئة الخط الذي يمثل اتجاه الرياح الى اجزاء يتناسب طول كل منها مع نسبة الرياح التي كانت سرعتها ضمن حدود السرعة التي يمثلها (شكل ٧٤).

شكل (٧٣) وردة رياح بسيطة

شكل (٧٤) وردة رياح مركبة

رابعا: خطوط المطر المتساوية

ان هذه الطريقة هي اكثر الطرق الثلاث دقة اذا احسن استخدامها، الا انـها صعبـة التطبيق وتحتاج من الدارس الى معرفة دقيقة بطبيعة المنطقـة الـتي يرغـب في تقديـر امطارها وفي طبيعة الامطار ومسارات العواصف الماطرة وغيرها (شكل ١٢٦).


شكل (١٢٦) الأمطار السنوية في الأردن

٥: خرائط الطقس (Weather Maps)

تعد دوائر الارصاد الجوية في مختلف دول العالم خرائط للطقس تبين عليها التوزيع الجغرافي للضغط الجوي، والكتل الهوائية، والجبهات الجوية، واتجاهات الرياح وسرعتها، ودرجة الحرارة، والرطوبة النسبية، وغيرها من الظواهر الجوية المهمة. وتشكل هذه الخرائط الركيزة الاساسية التي تقوم عليها عمليات التنبؤ الجوي، اذ يتسطيع المتنبئون الجويون من تحليلها ان يتوقعوا حالة الطقس خلال الاربع والعشرين، او الثماني والاربعين ساعة القادمة. وذلك عن طريق تحديد وتحليل طبيعة الكتل الهوائية، والجبهات الهوائية، التي سيتعرض لها المكان وحركة المنخفضات والمرتفعات الجوية واتجاهاتها. واذا كانت تلك الخرائط بالغة الاهمية لرجال التنبؤ الجوي ولا يستطيعون العمل بدونها فان المعرفة بها والتدرب على قراءتها مهمة في مجال الدراسات المناخية، وتشكل جزءا في تدريب المناخي.

ويمكن التمييز بين خرائط الطقس السطحية التي تعرف احيانا بخرائط الطقس الاجمالي او الخرائط السينوبتيكية التي تظهر عليها جميع عناصر الطقس المهمة وتمثل حالة الجو على سطح الارض، وبين خرائط الطقس العليا التي تمثل بعض عناصر الطقس مثل الضغط الجوي، ومسارات الرياح. على مستويات عليا في الغلاف الجوي مثل مستوى ٥٠٠ ميلليبار و ٨٥٠ ميلليبار، وغيرها. وقد اكتسبت خرائط الطقس العليا في السنوات الاخيرة مزيدا من الاهمية نظرا لتطوير حركة النقل الجوي ولتأثير حالة الجو العليا على مظاهر الطقس السائدة على سطح الارض وقد ساعد تطور وسائل الرصد العلوي واستخدام الاقمار الصناعية في مجال رصد التقلبات الجوية على مساحات واسعة من سطح الارض، في تطوير خرائط الطقس العليا، وازدياد انتشارها.

وتختلف مساحة المنطقة التي تظهر على خريطة الطقس تبعا لطبيعة الخريطة والغرض منها، فبعض الخرائط تشمل كل النصف الشمالي او الجنوبي من الكرة الارضية، ولا يظهر عليها الا العناصر الرئيسة، وتستعمل في مجال التنبؤات الجوية.

تمثيل الظواهر الجوية الرئيسة على خريطة الطقس:-

أبرز الظواهر الجوية التي تظهر على خريطة الطقس بالاضافة الى نماذج المحطات المناخية التي تتكون منها الخريطة هي:-

١-الكتل الهوائية.

٢- الجبهات.

٣- خطوط الضغط المتساوي

٤-مناطق سقوط المطر.

٥- مراكز الضغط الجوي.

٦- بعض خطوط الحرارة المتساوية

١- الكتل الهوائية :-

تكتب على خريطة الطقس الكتل الهوائية التي تتأثر بها المنطقة. ويستخدم في تمثيل كل منها ثلاثة رموز يشير الرمز الاول منها الى كون الكتلة قارية (c) او بحرية (m) ويشير الرمز الاوسط الى المنطقة التي قدمت الكتلة منها او موطن نشأتها فالكتل القطبية يرمز لها بالرمز (P)، والمدارية بالرمز (T)، والكتل الاستوائية بالرمز (E) والكتل المتجمدة بالرمز (A). اما الرمز الثالث فيشير الى كون درجة حرارة الكتلة اعلى من درجة حرارة المنطقة التي وصلت اليها (W) او اقل منها (K) خاصة وان لهذا علاقة باستقرار الكتلة الهوائية او عدمة ويرتبط بالظواهر الجوية التي ترافقها وعلى هذا الاساس فان كتلة مدارية بحرية دافئة تمثل على الخريطة بالرمز MTW بينما تمثل كتلة قطبية قارية باردة بالرمز CPk وهكذا.

٢- الجبهات

تعتبر الجبهات الجوية من اكثر اجزاء خريطة الطقس اهمية لارتباطها المباشر بمناطق الاضطراب الجوي في الخريطة. وتمّثل الجبهات بالالوان احيانا كأن ترسم الجبهة الدافئة باللون الاحمر، والجبهة الباردة باللون الازرق، بينما ترسم الجبهة المتلئة باللون البنفسجي الا ان الطريقة الشائعة في تمثيل الجبهات الجوية على خرائط الطقس هي استخدام رموز خاصة لكل منها فالجبهة الباردة تمثل بخط اسود سميك مرسوم عليه بروزات مدببة، بينما تكون تلك البروزات نصف دائرية في الجبهة الدافئة، ومختلطة من الاثنتين في الجبهات المتلئة. وتشير الجهة التي ترسم فيها البروزات في الجبهة الى مسار تلك الجبهة وتحركها. ويرمز لخط العواصف بخط متقطع ومنقوط (-٠٠-٠٠-٠٠-).

٣- خطوط الضغط المتساوي ومراكز الضغط الجوي :

ترسم على خريطة الطقس خطوط الضغط المتساوي على شكل خطوط سوداء متصلة، ويكتب عليها مقدار الضغط الجوي. وهي باشكالها الانسيابية وشبه الدائرية تدل على مراكز توزيع الضغط الجوي، فيكتب في مراكز الضغط المرتفع

(H) وفي مراكز الضغط المنخفض (L)، ويراعي عند رسم خطوط الضغط المتساوي ان يكون الفاصل بين كل اثنين منها متناسبا مع تحدر الضغط الجوي (Pressure Gradient). وهي ترسم عادة بفاصل قدره اربعة ملليبارات الا في الحالات التي يكون تحدر الضغط فيها ضغيفا فترسم بفاصل ميلليبارين فقط.

٤- خطوط الحرارة المتساوية :-

ترسم على خرائط الطقس احيانا بعض خطوط الحرارة المتساوية ذات الاهمية الخاصة مثل درجة الصفر المئوي وغيره.

٥-مناطق سقوط المطر :

تظلل على خرائط الطقس المناطق التي تسقط فيها الامطار بخطوط سوداء قصيرة، وفي بعض الاحيان فإنها تلون باللون الاحمر.

امثلة على قراءة خرائط الطقس:

نورد فيما يلي مثالين توضيحيين لقراءة وتحليل خرائط الطقس السطحية. وقد اختيرت الخريطة الاولى لتمثل حالة الطقس السائد في اوروبا ومعظم اجزاء العالم العربي الواقعة في اسية وشمالي افريقية يوم ٢٩/ ١١/ ١٩٧٩، وهو يوم عاصف تعرضت فيه الاردن الى عاصفة ثلجية قوية سببت فيضانات كثيرة وتساقطت الثلوج بكميات كبيرة على معظم انحاء البلاد.

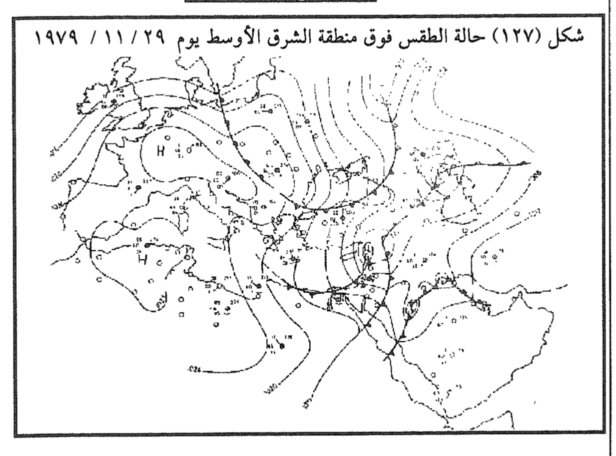
اما الخريطة الثانية فتمثل حالة الطقس السائد في الولايات المتحدة الامريكية يوم ٣/ ٢/ ١٩٦٣ وقد اختيرت تلك الخريطة، لأنها وان كانت لا تمثل مظاهر طقس عنيف الا انها تبرز انماط متنوعة من الطقس عبر الولايات المتحدة الامريكية وجنوب كندا.

المثال الاول : الطقس في الاردن يوم ١٩٧٩/١١/٢٩ م (الساعة الواحدة صباحاً).

يبين الشكل (٧٥) حالة الطقس فوق منطقة واسعة تشمل اوروبا ومعظم العالم العربي. وبرغم انه تظهر على الخريطة ثلاثة مراكز رئيسة للضغط الجوي المنخفض،

الا ان اثنان منها يقعان خارج منطقة حوض البحر المتوسط، فوق بحر قزوين ومنطقة موسكو، ويقترنان بجبهات هوائية باردة واخرى دافئـة. امـا المنخفـض الجـوي الـذي كانت تتأثر به الاردن وكل من سوريا ولبنان وفلسطين، فيقع في شمالي غربي سورية، ويقترن بجبهة هوائية باردة تقع في مقدمة كتلة مــن الهـواء القطـبي البـارد القـادم مـن اواسط اوروبا وهضبة الأناضول. وبما ان هذا المنخفض كـان واقعـا الى الشـرق مـن المحور الرئيس لاخدود ضخم يظهر واضحا في مسارات الريـاح العليـا ويمتـد فـوق الجز الشرقي من حوض البحر المتوسط، فانه قد تعمق كثيرا، وازداد قوة، ممـا ادى الى تساقط امطار غزيرة، وتساقط الثلوج على مساحات شاسعة من المرتفعات الجبليـة في كل من الاردن وسورية ولبنان وفلسطين. ويلاحظ من هذه الخريطة ان الاردن كــان قد تأثر قبل هذه الجبهة الحالية بجبهة اخرى مرت علـى البـلاد قبـل سـت الى ثمـاني ساعات وكانت مقترنة بـهواء بـارد، وادت الى تسـاقط الثلـوج والامطـار في معظـم المناطق. اما الجبهة الباردة والمتقطعة التي تظـهر فـوق الجـزء الشـمالي والاوسـط مـن السعودية، فكانت قد مرت على الاردن قبل اكثر من ١٢ساعة، وادت هي الاخـرى الى تساقط الامطار والثلوج ولكنها ضعفت كثيرا بعد ان توغلت في السعودية، واخذ المنخفض الجوي الذي رافقها في التلاشي. وقد كانت كميات الامطار والثلـوج الـتي سقطت على الاردن خلال الايام الثلاث الاخيرة من تشرين ثـاني سـنة ١٩٧٩ مـن اغزر الامطـار الـتي تعرضـت لهـا البلاد في السـنوات الاخـيرة، وادت الى حـدوث فياضانات كبيرة وانهارت الكثير من الجسور وامتلأت بحيرة سد الملـك طـلال بالميـاه التي وصلت الى الجسر الواقع على طريق عمان – جرش.

شكل (١٢٧) حالة الطقس فوق منطقة الشرق الأوسط يوم ٢٩ / ١١ / ١٩٧٩



المثال الثاني :- الطقس في الولايات المتحدة يوم ١٩٦٢/٢/٣

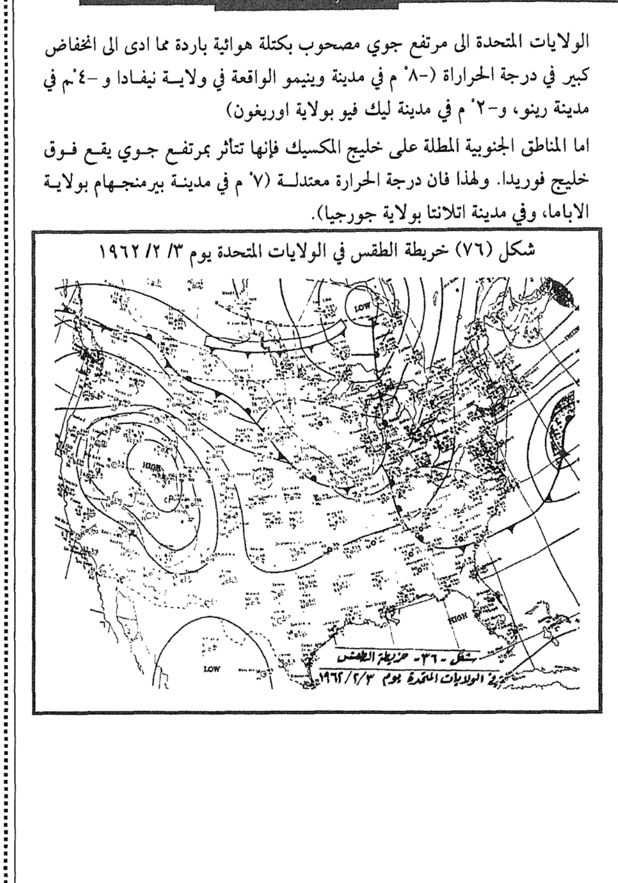
أبرز مظاهر القطس التي تؤثر على الولايات المتحدة في ذلـك اليـوم هـو منخفـض جوي قوى تكون في وسط كندا واخذ يتحرك نحو الشرق في بطء شديد وقد تسبب ذلك المنخفض في تساقط الثلوج فوق مناطق واسعة خاصة المنطقة الـتي تقـع تحـت تأثير جبهة هوائية ممتلئة وتمتد من خليج هدسون في الشمال الى ولاية انديانا جنوبا.

اما الكتلة القطبية الباردة فقد كانت تتحـرك تحركـا بطيئـا خلـف المنخفـض. وقـد تكونت جبهة مستقرة تمتد من ولاية ايلينوي في الجنوب الى كولومبيا البريطانيـة في الشمال الغربي وقد عملت تلك الجبهـة علـى خفـض درجـة الحـرارة الى مـا دون درجة التجمـد في المنـاطق الواقعـة إلى الشـمال منـها (-٧مْ في مدينـة مينـابولس (Minnapolis) بولاية مينيسوتا و-٢مْ في مدينة ميلووكـي بولايـة وسـكنس). امـا الكتلة الباردة الاخرى التي توغلت جنوبا على طول الساحل الشرقي فانـها اخـذة في الخروج من البـلاد الى المحيـط الاطلسـي. وتتعـرض المنـاطق الواقعـة في غـرب

الولايات المتحدة الى مرتفع جوي مصحوب بكتلة هوائية باردة مما ادى الى انخفاض كبير في درجة الحرارة (-٨° م في مدينة وينيمو الواقعة في ولايـة نيفـادا و -٤°م في مدينة رينو، و-٢° م في مدينة ليك فيو بولاية اوريغون)

اما المناطق الجنوبية المطلة على خليج المكسيك فإنها تتأثر بمرتفـع جـوي يقـع فـوق خليج فوريدا. ولهذا فان درجة الحرارة معتدلـة (٧° م في مدينـة بيرمنجـهام بولايـة الاباما، وفي مدينة اتلانتا بولاية جورجيا).

شكل (٧٦) خريطة الطقس في الولايات المتحدة يوم ٣/ ٢/ ١٩٦٢



أنشطة الوحدة الثالثة

النشاط الأول: يتضمن الموقع التالي:

(http://www.bom.gov.au/climate/averages/wind/images/wrsum_9.pdf)

خريطة تفصيلية للقارة الأسترالية، تظهر فيها وردات الرياح في الساعة التاسعة صباحا، لعدد من المحطات المناخية. المطلوب قراءة تلك الخريطة وتحليلها وكتابة ذلك على شكل تقرير علمي عن اتجاهات الرياح في استراليا.

النشاط الثاني: يتضمن الموقع التالي:

(http://www.windpower.org/en/tour/wres/roseplot.htm)

برنامجا خاصا يقوم برسم وردة رياح عند تزويده بالبيانات المطلوبة الخاصة بسرعة الرياح واتجاهها. وهو مزود بالبيانات الخاصة بمدينة كوبنهاجن في الدنمارك. ويقوم برسم وردة الرياح لتلك المدينة باستخدام الخيار (PLOT).

المطلوب تغيير البيانات الموجودة في الجدول ببيانات عن مدينة تختارها ورسم وردة رياح خاصة بتلك المدينة.

النشاط الثالث: يحتوي الموقع التالي

(http://asp.usatoday.com/weather/forecast/international/middle-east-precip-index.htm)

برنامجا متطورا لتقديم خرائط طقس عن أي مكان في العالم وتظهر مباشرة عند بداية استخدام الموقع خريطة للجبهات الهوائية في الولايات المتحدة في نفس اليوم الذي يتم فيه استخدام الموقع (شكل ١٢٩). وللحصول على خريطة لأي مكان آخر في العالم يتم اختيار (international forcasts) من خانة (Weather now) فتظهر خريطة العالم (شكل ١٣٠) مكتوب عليها أسماء

الأقاليم الجغرافية الرئيسية للعالم. فلو اخترنا منطقة الشرق الأوسط مثلا، تظهر لنا خريطة تبين درجات الحرارة المتوقعة لمنطقة الشرق الأوسط (شكل ١٣١). ويمكن الحصول على خريطة للأمطار المتوقعةبالنقر على الخريطة السابقة (شكل ١٣٢). ويمكن الحصول على النشرة الجوية المتوقعة لأية مدينة رئيسية في الشرق الأوسط مذكورة في القائمة (هـ). ويمكن الحصول على النشرات الجوية المتوقعة لتلك المدينة لمدة اسبوع كامل(و).

المطلوب استخدام ذلك البرنامج والحصول على الخرائط والنشرات الجوية المتوقعة وعرضها ومناقشتها من قبل الطلبة في قاعة الدراسة.

شكل (١٢٩) خريطة الطقس في الولايات المتحدة يوم ٢٠٠٧/٨/١٤

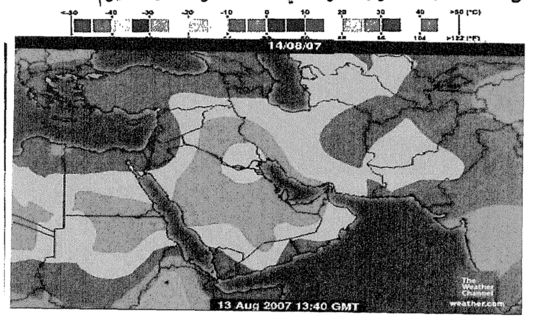


(شكل ١٣٠) الأقاليم الجغرافية للعالم

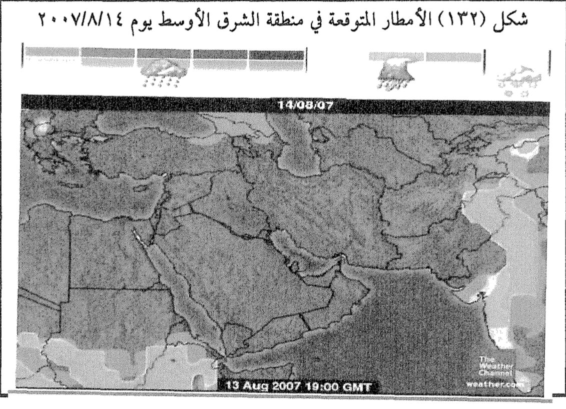
Click on a region for a temperature forecast, index for the region



شكل (١٣١) درجة الحرارة المتوقعة في منطقة الشرق الأوسط يوم ٢٠٠٧/٨/١٤



شكل (١٣٢) الأمطار المتوقعة في منطقة الشرق الأوسط يوم ٢٠٠٧/٨/١٤



(شكل ١٣٣) المدن الرئيسة في الشرق الأوسط التي تشملها التنبؤات الجوية

Latest conditions, forecasts for Middle East cities.

Abu Dhabi, U.A.E	Beirut, Lebanon	Jerusalem, Israel	Mosul, Iraq
Alexandria, Egypt	Cairo, Egypt	Jiddah, Saudi Arabia	Muscat, Oman
Amman, Jordon	Damascus, Syria	Kabul, Afghanistan	T'bilisi, Georgia
Ankara, Turkey	Doha, Qatar	Kuwait City, Kuwait	Tehran, Iran
Baghdad, Iraq	Istanbul, Turkey	Manama, Bahrain	Tel Aviv, Israel
Basra, Iraq		Mecca, Saudi Arabia	

Guides to month-to-month climates.

Baghdad, Iraq	Basra, Iraq	Mosul, Iraq

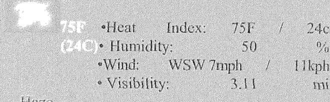
شكل (١٣٤) النشرة الجوية المتوقعة لمدينة عمان لمدة اسبوع

Amman, Jordan

Today's weather

Current conditions (09:00 AM local)

Observed from Amman



75F (24C)
- Heat Index: 75F / 24c
- Humidity: 50 %
- Wind: WSW 7mph / 11kph
- Visibility: 3.11 mi

Haze

- Sunrise: 05:59 am
- Dewpoint: 55 F / 13 C
- Sunset: 07:21 pm
- Barometer 29.80 Steady

Forecast

Sunny Hi 88F Lo 70F
31C 21C

Hourly forecast

10 Day forecast

The days ahead



Wed	Thu	Fri	Sat
Sunny	Sunny	Sunny	Sunny
HI 92 F (33 C)	HI 92 F (33 C)	HI 89 F (31 C)	HI 88 F (31 C)
LO 71 F (21 C)	LO 68 F (20 C)	LO 67 F (19 C)	LO 67 F (19 C)

Weather tools

More from The Weather Channel weather.com

More details
- Animated Radar
- Daily Averages
- Weather Video

Planning
- Weekend forecast
- Air Quality
- Vacation Planner
- Monthly Averages

Outdoors
- Local Golf Courses
- Fishing Forecast
- Sporting Events
- Hit the Beach!

Personalize your forecast





قضايا مناخية معاصرة

الوحدة الرابعة

قضايا مناخية معاصرة

المخرجات التعليمية للوحدة الرابعة

يتوقع أن يكون الطالب قادرا بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة على القيام بما يلي:

١- يفسر ظاهرة الاحتباس الحراري والتغير المناخي.

٢- يناقش الأبعاد المناخية والبيئية لظاهرة النينو.

٣- يوضح اثر المدن الكبيرة على تعديل الظروف المناخية.

٤- يوضح دور الانسان في تفاقم مشكلة الاحتباس الحراري والتغير المناخي.

٥- يستنتج الآثار المترتبة على ظاهرة الاحتباس الحراري والتغير المناخي في مختلف المجالات.

٦- يفسر الأبعاد العالمية لمشكلة الاحتباس الحراري والتغير المناخي والتوزيع الجغرافي لتلك الابعاد.

٧- يقيم الأبعاد الاقليمية لمشكلة الاحتباس الحراري والتغير المناخي.

٨- يناقش دور الإنسان في مكافحة ظاهرة الاحتباس الحراري.

٩- يثمن الجهود الدولية في مجال مكافحة التغير المناخي.

١٠- يدعم الجهود الخاصة بالحد من التلوث الجوي في بيئته.

١١- يستخدم التكنولوجيا بكفائة في البحث عن المعلومات الخاصة بموضوعات هذه الوحدة.

١٢- يساهم بشكل فعال في العمل الجماعي والتعلم التعاوني من خلال مجموعات التركيز والنقاشات الصفية وغيرها.

١٣- يستخدم التكنولوجيا بكفائة في عرض التكليفات التي يقوم بها.

١٤- يقدم التكليفات التي يقوم بها في قاعة الدراسة بلغة سليمة وأسلوب سلس ويتناقش مع زملائه ويؤمن بالرأي الآخر.

يعالج هذا الفصل عدداً من القضايا المناخية المعاصرة التي تشغل ـ في هذه الأيام ـ جمهرة علماء المناخ في العالم، وتحظى باهتمام كبير على مختلف الأصعدة الرسمية والشعبية خاصة وأن لها آثاراً هامة على حياة الناس ونشاطاتهم المختلفة وعلى النظام البيئي بشكل عام.وأهم تلك القضايا هي :

- التغير المناخي.
- ثقب الأوزون.
- ظاهرة النينو.
- الجزيرة الحرارية للمدن.

الفصل التاسع عشر

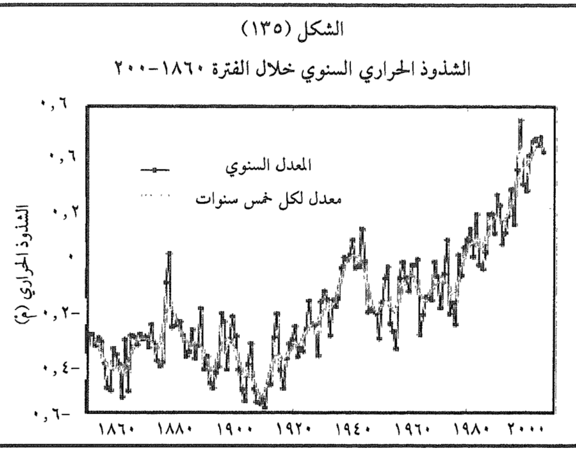
الاحتباس الحراري التغير المناخي

يستخدم البعض مصطلح التغير المناخي (Climatic change) للتعبير عن ظاهرة الاحتباس الحراري (Greenhouse Effect) وما يترتب عليها من تغيرات مناخية سواء من حيث درجة الحرارة، أو الرطوبة، أو الأمطار، أو التبخر، أو التكاثف، أو الأعاصيرأو غيرها. والاحتباس الحراري مفهوم حديث، لم يكن معروفاً قبل منتصف القرن العشرين، ويقصد به زيادة درجة الحرارة زيادة مطردة منذ بداية الثورة الصناعية في أوروبا[1]. وينبغي أن نميز منذ البداية، بين ارتفاع متوسط درجة الحرارة لسنة واحدة، أو لبضعة سنوات قليلة، وبين الزيادة المطردة لدرجة الحرارة خلال فترة طويلة من الزمن. إذ أن الحالة الأولى ظاهرة مؤقتة تمثل تقلباً لدرجة الحرارة) (Fluctuation، وهي من الخصائص الطبيعية للغلاف الجوي، بينما تمثل الحالة الثانية اتجاهاً مستمراً للتغيير (Trend) ناتج عن تلويث الإنسان للغلاف الجوي. فقد شهدت درجة الحرارة منذ بداية الثورة الصناعية في أوروبا، وكما هو مبين في الشكل (١٣٥)، زيادة مطردة وصلت بنهاية القرن العشرين إلى ٦ , ٠° م[2].

---

(١) يقصد بدرجة الحرارة، حيثما وردت في هذا الفصل، درجة حرارة التي يقيسها الميزان الجاف (Dry bulb thermometer) الموجود داخل كشك ستيفنسون الخشبي على ارتفاع يتراوح بين ١,٧ - ٢.٠ متر من سطح الأرض. وما لم يتم تخصيص درجة الحرارة لمكان معين فإن المقصود بها متوسط درجة الحرارة للكرة الأرضية بمجملها.

(٢) تم حساب هذه الزيادة باستخدام السجلات الحرارية لعدد كبير من المحطات المناخية ذات السجل المناخي الطويل، وذلك بعد تدقيق بياناتها والتأكد من صحتها بوسائل إحصائية متعددة.



الشكل (١٣٥)

الشذوذ الحراري السنوي خلال الفترة ١٨٦٠-٢٠٠٠

وبالرغم من الآثار العديدة لتلك الزيادة على مختلف عناصر النظام البيئي إلا أن الأسوأ لم يحدث بعد، إذ يقدر العلماء أن تستمر تلك الزيادة بمعدل أسرع من معدلها الحالي بكثير، وأن تتراوح في نهاية القرن الحادي والعشرين بين ٥ ,١ – ٥ ,٤° م[1]. ويكفي للتدليل على فداحة الآثار السلبية التي يمكن أن تحدث نتيجة لهذه الزيادة، والتي يمكن أن تمتد لتشمل مختلف مناحي الحياة البشرية، وعناصر النظام البيئي بأجمعها، أن نقارنها بالفرق بين درجة الحرارة الحالية، وأقل درجة حرارة شهدها العصر الجليدي قبل حوالي ٢٠٠٠٠ سنة، وهو ٥° م فقط .

---

(١) لا يوجد إجماع بين علماء المناخ على مقدار الزيادة المتوقعة، لكن معظمهم يجمعون أنه ـ ما لم تتخذ إجراءات حاسمة للحد من أسباب تلك الزيادة – فإنها ستكون أعلى مما حصل خلال القرن العشرين بكثير.

وتعزى ظاهرة الاحتباس الحراري، إلى زيادة مقــدرة الغـلاف الجـوي علـى حجـز الأشعة والاحتفاظ بها. فكما سبق أن ذكرنا في الفصل الثالث، فإن الاعتدال الحالي لدرجة حرارة سطح الأرض، راجع إلى أن الغلاف الجوي يمتص جـزءاً مـن أشـعة الشمس التي تصل إليها ويعكس جزءاً آخر، وبهذا يتم المحافظة على درجة الحـرارة المعتدلة للأرض. لكن زيادة نسبة بعض الغازات التي تعرف "بالغازات الدفيئة" الـتي تدخل في تركيب الغلاف الجوي بنسب صغيرة مثل ثاني أكسيد الكربـون، والمـواد الكلوروفلوروكربونية، والميثان، تعمـل علـى زيـادة مقـدرة الغـلاف الجـوي علـى الاحتفاظ بالأشعة، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته. إذ أن تلك الغـازات تمتـص الأشعة المرتدة من سطح الأرض أو الصادرة عنه، لتعود فتشـعها مـرة ثانيـة باتجـاه سطح الأرض. وتؤكد حقيقـة الاحتبـاس الحـراري العديـد مـن النمـاذج المناخيـة المتطورة التي تمثل بشكل علمي دقيق المخرجات المناخية الـتي تـترتب علـى ارتفـاع نسبة تلك الغازات الدفيئة.

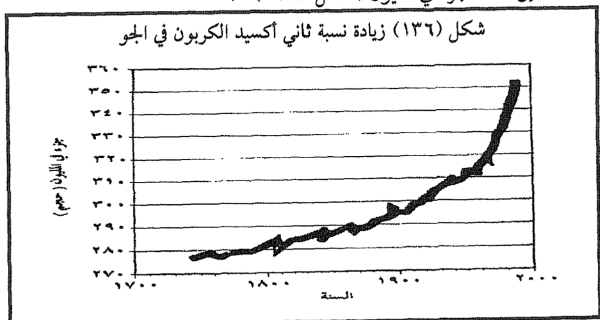
يضاف إلى نتائج تلك النماذج العديد من الظواهر البيئيــة الـتي تؤكـد ارتفـاع درجـة الحرارة خلال العصر الحديث مثل : تناقص سمك الجليد في المناطق القطبية وتراجـع الجموديات التي تغطي بعض قمم الجبال المرتفعة وارتفاع منسوب البحار والمحيطـات بحوالي ١٠- ٢٣ سم عما كان عليه قبل قرن مــن الزمـان، وغيرهـا. ومـن الشـواهد الأخرى، الارتفاع الكبـير لدرجـة حـرارة عـام ١٩٩٧ الـتي تعـد أحـر السـنوات في السجل المناخي المعروف، كما أن أكثر عشرة سنوات حرارة شهدها العالم منـذ عـام ١٩٨٠ قد حدثت خلال الخمسة عشرة سنة الأخيرة (١٩٨٢ - ١٩٩٧).

(١)الغازات الدفيئة

أهم الغازات الدفيئة التي تتسبب في زيادة مقدرة الغـلاف الجـوي علـى الاحتفـاظ بالطاقة وتعمل على حدوث الاحتباس الحراري هي ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروز والمواد الكلوروفلوروكربونية. وسنكتفي هنا بالحديث عـن اثنـين منها هما ثاني أكسيد الكربون والمواد الكلوروفلوروكربونية.

-ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

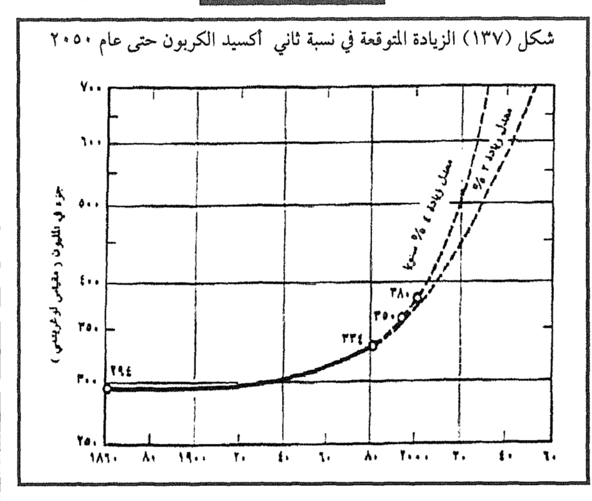
ذكرنا في الفصل الثاني أن نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تصل حالياً إلى حوالي ٣٥٠ جزء في المليون. والحقيقة أن نسبته قد طرأ عليها ارتفاع كبير منذ الثورة الصناعية نتيجة لحرق كميات كبرية من الوقود سواء في الصناعة أو المواصلات أو غيرها. وتقدر نسبة الزيادة التي طرأت على نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي منذ عام ١٧٥٠ بحوالي ٣٠٪. وكما هو مبين في الشكل (١٣٦)، فإن معدل الزيادة السنوية في تسارع مستمر خاصة منذ منتصف القرن العشرين، ولذا فإن بعض النماذج المناخية المتشائمة والمبنية على أساس أن نسبة زيادته السنوية سترتفع إلى ٧٪ تتوقع أن تصل نسبته في الغلاف الجوي بحلول عام ٢٠٥٠ إلى ٧٠٠ جزء في المليون (شكل ١٣٧)[١].



شكل (١٣٦) زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو

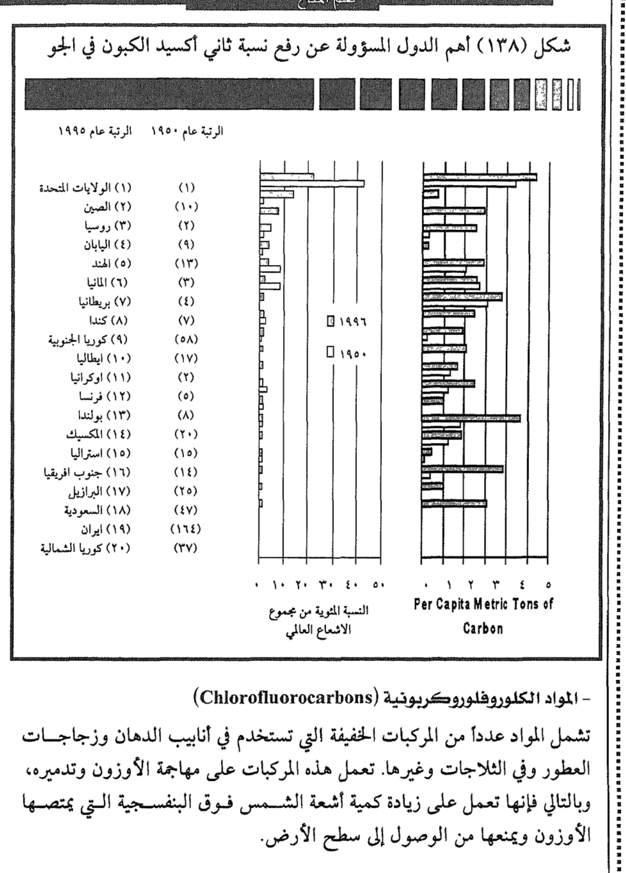
(١) من العوامل الأخرى التي تساعد على ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي التصحر، وتناقص نسبة الغابات، إذ أن الأشجار تعمل باستمرار على تخليص الغلاف الجوي من جزء مما به من ثاني أكسيد الكربون عن طريق عملية التمثيل الضوئي، وبالتالي، فإن تناقص المساحات المغطاة بالأشجار سيؤدي إلى تراكم ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

شكل (١٣٧) الزيادة المتوقعة في نسبة ثاني أكسيد الكربون حتى عام ٢٠٥٠



ويعد غاز ثاني أكسيد الكربون أهم الغازات التي تتسبب في ظاهرة الاحتباس الحراري بل ويقدر البعض أنه مسؤول عن أكثر من ٧٠٪ من الارتفاع الذي طرأ على درجة الحرارة، خاصة وأنه يمتص جزءاً كبيراً من الأشعة التي يتراوح طولها بين ٥-١٢ مايكرون.

ويبين الشكل (١٣٨) أهم الدول المسؤولة عن رفع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو. حيث تبدوا الدول الصناعية مثل الولايات المتحدة وكندا وروسيا وبريطانيا واليابان في مقدمة تلك الدول.



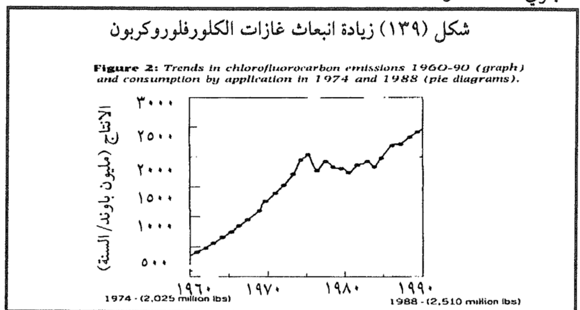
شكل (١٣٨) أهم الدول المسؤولة عن رفع نسبة ثاني أكسيد الكبون في الجو

- المواد الكلوروفلوروكربونية (Chlorofluorocarbons)

تشمل المواد عدداً من المركبات الخفيفة التي تستخدم في أنابيب الدهان وزجاجات العطور وفي الثلاجات وغيرها. تعمل هذه المركبات على مهاجمة الأوزون وتدميره، وبالتالي فإنها تعمل على زيادة كمية أشعة الشمس فوق البنفسجية التي يمتصها الأوزون ويمنعها من الوصول إلى سطح الأرض.

ويبين الشكل (١٣٩) الزيادة المطردة في معدل انبعاث تلك الغازات إلى الغلاف الجوي خلال الفترة ١٩٦٠ - ١٩٩٠.

شكل (١٣٩) زيادة انبعاث غازات الكلوروفلوروكربون



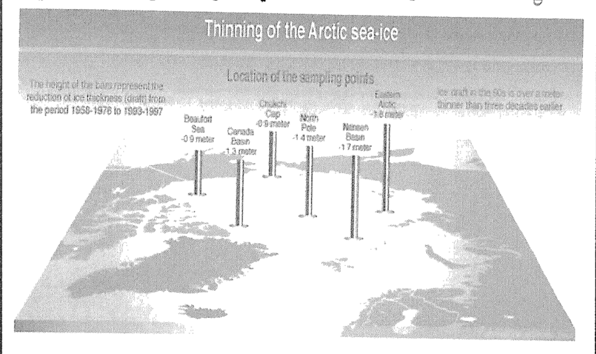
(٢) أهم النتائج المتوقعة للانحباس الحراري

لظاهرة الاحتباس الحراري نتائج كثيرة، تشمل مختلف مناحي الحياة البشرية وعناصر النظام البيئي الأخرى. وسنقصر حديثنا هنا على بعض تلك الجوانب :

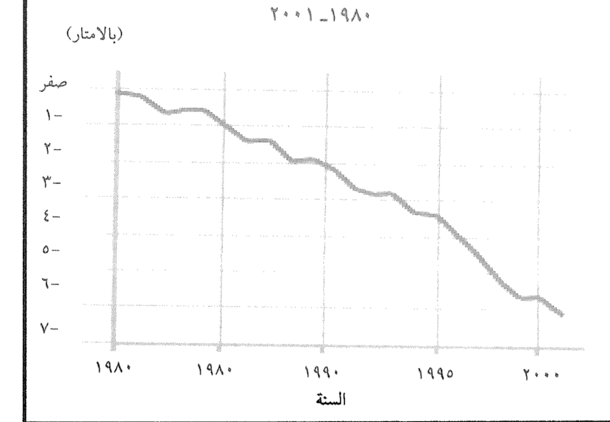
(أ) مستوى البحار والمحيطات :

يتوقع أن يرتفع منسوب البحار والمحيطات نتيجة لذوبان جزء من الجليد المتراكم في المناطق القطبية (شكل ١٤٠). ولا يقتصر الأمر على ذلك، بل إن سمك الطبقات الجليدية في مختلف مناطق العالم قد تناقص أيضا لوحة (١٤١).

شكل (١٤٠) تناقص سمك طبقة الجليد في أماكن مختلفة في القطب الشمالي



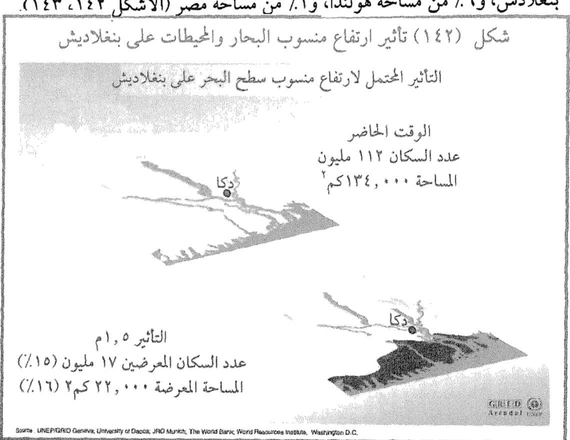
شكل (١٤١) تناقص سمك طبقة الجليد في القطب الشمالي خلال الفترة ١٩٨٠_٢٠٠١



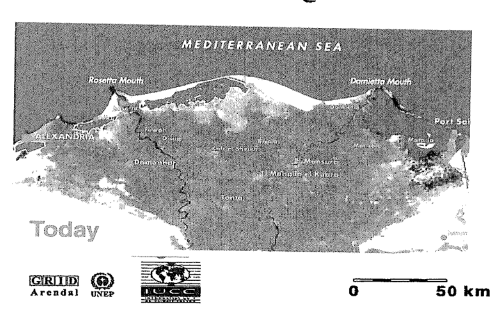
ونتيجة لذوبان الجليد، فإن من المتوقع أن يرتفع منسوب البحار والمحيطات بنهاية القرن الحادي والعشرين بحوالي ٦٥- ١٠٠ سم، مما سيؤدي إلى انغمار كثير من المناطق الساحلية المنخفضة في معظم دول العالم.

وتقدر نسبة الأراضي التي يتوقع أن تغمرها مياه البحار بحوالي ١٧,٥٪ من مساحة بنغلادش، و٦٪ من مساحة هولندا، و١٪ من مساحة مصر (الأشكل ١٤٢، ١٤٣).

شكل (١٤٢) تأثير ارتفاع منسوب البحار والمحيطات على بنغلاديش



لوحة (١٤٣) تأثير ارتفاع منسوب البحار والمحيطات على دلتا النيل



Sources: Otto Simonett, UNEP/GRID Geneva; Prof. G. Sestini, Florence; Remote Sensing Center, Cairo; DIERCKE Weltwirtschaftsatlas.

وسيرتفع عدد سكان المناطق الساحلية المهددين بخطر الفيضان ـ إذا ارتفع منسوب البحار بنصف متر ـ من ٤٦ مليون نسمة في الوقت الحاضر إلى ٩٢ مليون نسمة. أما إذا ارتفع منسوب البحار متراً واحداً، فسيرتفع العدد إلى ١١٨ مليون نسمة.

(ب) الزراعة والنباتات الطبيعية

النتائج المتوقعة لظاهرة الاحتباس الحراري في مجال الزراعة كثيرة ومتعددة، نذكر منها:

- زيادة مساحة الأراضي الصالحة للزراعة على مدار السنة، وتوسعها نحو الشمال في النصف الشمالي ونحو الجنوب في النصف الجنوبي.
- تناقص إنتاجية أفضل الأراضي الزراعية الحالية في الولايات المتحدة وروسيا وكندا واستراليا التي تعرف بسلة الغذاء العالمي، وذلك نتيجة لازدياد نسبة التبخر وتناقص رطوبة التربة.
- أكثر المجتمعات الزراعية تأثراً بالنتائج السلبية على الزراعة هي المجتمعات المحلية في أفريقيا المدارية جنوب الصحراء وفي جنوب شرق آسيا والمناطق المدارية من أمريكا اللاتينية.

(جـ) الأمراض والأوبئة

يساعد ارتفاع درجة الحرارة خاصة في المناطق الرطبة على انتشار الجراثيم والأوبئة مثل الملاريا والحمى (dengue fever) وغيرها. وإذا ارتفعت درجة الحرارة بين ٣-٥° م ـ كما هو متوقع – فإن نسبة سكان العالم المعرضين للملاريا سيرتفع من ٤٥٪ إلى ٦٠٪، كما سيرتفع عدد الإصابات السنوية بما يزيد على ٥٠-٨٠ مليون إصابة. وسيساعد ارتفاع درجة الحرارة وانتشار التلوث الجوي على زيادة الإصابة بضيق التنفس والأمراض المرتبطة بالجهاز التنفسي.

وبالرغم من أن ارتفاع درجة حرارة المناطق القطبية والباردة سيؤدي إلى إنقاص نسبة الوفيات بسبب البرد والتجمد، إلا أن نسبة الوفيات بسبب الإصابة بضربات الشمس،ومن موجات الحر ستزداد كثيراً، كما ستزداد نسبة الإصابة بسرطان الجلد بسبب ارتفاع نسبة الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض.

(د) النظم البيئية

ستشهد العديد من النظم البيئية تغيرات كبيرة، ومن المتوقع أن يزداد الجهد البيئي الذي تتعرض له النظم الحيوية، مما قد يؤدي إلى انقراض بعض الغابات أو إنقاص نسبة التنوع النباتي فيها. أما المناطق الصحراوية فمن المتوقع أن تصبح أكثر تطرفاً وحدة، وأن يزداد معدل انجراف التربة. ويتوقع أن يزداد عدد الأعاصير المدارية التي تحدث سنوياً، وأن تصبح تلك الأعاصير أكثر حدة. كما يتوقع أن تزداد حالات حدوث الجفاف، وانتشار المجاعات. وإذا كانت بعض المناطق ستشهد زيادة في الأمطار، فإن معظمها سيكون على شكل أمطار غزيرة فجائية تزيد من الفيضانات ومعدلات انجراف التربة.

(٣) الجهود الدولية لمكافحة التغير المناخي

أدركت دول العالم أهمية التعاون فيما بينها من أجل مكافحة التغير المناخي وذلك باستخدام وسائل تكنولوجية حديثة تحد من انبعاث الغازات الدفيئة. وقد عقدت

في سبيل ذلك ـ خلال السنوات العشرة الماضية ـ عدد من المؤتمرات الدولية كان آخرها مؤتمر كييتو في اليابان الذي عقد في ديسمبر ١٩٩٧.

وقد دق مؤتمر المناخ العالمي الثاني الذي عقد في جنيف في الفترة من ٢٩ أكتوبر إلى ٧ نوفمبر ١٩٩٠ ناقوس الخطر منذراً من العواقب الجسيمة للتغير المناخي المتوقع. وقد عُقد ذلك المؤتمر برعاية المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، ومنظمة اليونسكو، وغيرها من المنظمات الدولية، وشارك فيه أكثر من ٧٠٠ عالم من ١٠٠ بلد. فقد جاء في البيان العلمي والفني الصادر عن ذلك المؤتمر بأنه وإن كان "المناخ قد تغير في الماضي، فإن معدل الزيادة المتوقعة لدرجة الحرارة خلال القرن القادم ـ إذا لم يتم الحد من الزيادة المطردة للغازات الدفيئة – ستكون زيادة غير مسبوقة"[1].

وأكد ذلك المؤتمر بأن تلك الزيادة، لم يحدث لها نظير خلال العشرة آلاف سنة السابقة، وأنها ستؤدي إلى تغيرات في المناخ وتشكل تهديداً بيئياً خطيراً يمكن أن يعرض التنمية الاجتماعية والاقتصادية في كثير من مناطق العالم للخطر. بل ويمكن أن تهدد البقاء في بعض الجزر الصغيرة، وفي المناطق الساحلية المنخفضة، والمناطق القاحلة وشبه القاحلة".

ولأن دول العالم تدرك، أن الحد من ظاهرة التغير المناخي يتطلب جهداً كبيراً ونفقات باهظة، للحد من انبعاث الغازات الدفيئة، وأن ذلك يتطلب نفقات باهظة لتطوير التكنولوجيا الحديثة لاستغلال الطاقة، أو إيجاد تكنولوجيا بديلة تكون أقل تلوثاً للبيئة، فإن المؤتمر الدولي للأرض الذي عقد في مدينة ريوديجانيرو عام ١٩٩٥، وبحضور عدد كبير من رؤساء الدول، قد دعى مختلف الدول خاصة الدول الصناعية إلى خفض انبعاث الغازات الدفيئة. إلا أنه قد ترك الأمر تطوعياً.

لم تتقيد دول العالم بتوصيات مؤتمر الأرض، ولم تخفض الدول الصناعية نسبة انبعاث الغازات الدفيئة، مما أدى إلى استفحال الأمر،وأصبح يهدد بخطر جسيم.

---

(١) منظمة الأرصاد الجوية العالمية : البيان العلمي والفني لمؤتمر المناخ العالمي الثاني الذي عقد في مدينة جنيف في الفترة ٢٩/ ١٠-٧/ ١١/ ١٩٩٠ (جنيف ، ١٩٩٠، بيان غير منشور).

ولذا، فقد تداعت ١٦٠ دولة إلى مؤتمر كيتو الذي عقد في ديسمبر ١٩٩٧ في اليابان، لاتخاذ خطوات جادة، وإقرار إجراءات إلزامية تتقيد بموجبها مختلف دول العالم بخفض انبعاث الغازات الدفيئة بنسب محددة. وقد تم الاتفاق خلال ذلك المؤتمر على أن تقوم الولايات المتحدة بخفض انبعاث الغازات الدفيئة من داخل حدودها بنسبة ٧٪، واليابان بنسبة ٦٪، ودول الاتحاد الأوروبي بنسبة ٨٪. كما تم الاتفاق على عدد من الإجراءات التي ستؤدي إلى خفض انبعاث الغازات في العالم بنسبة متوسطها ٥٪، وذلك مقارنة بنسبة انبعاث تلك الغازات عام ١٩٩٠، على أن يتم الخفض خلال الفترة ٢٠٠٨-٢٠١٢.

ومما لاشك فيه أن خفض نسبة انبعاث الغازات الدفيئة يمكن أن يتم بوسائل متعددة منها استخدام مصادر بديلة للطاقة لا تلوث البيئة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وغيرها. والحد من استخدام وسائل النقل الخاصة والاعتماد بشكل متزايد على وسائل النقل العام وتطوير السيارة التي تسير على الطاقة الكهربائية، وغيرها.

(٤) تآكل طبقة الأوزون

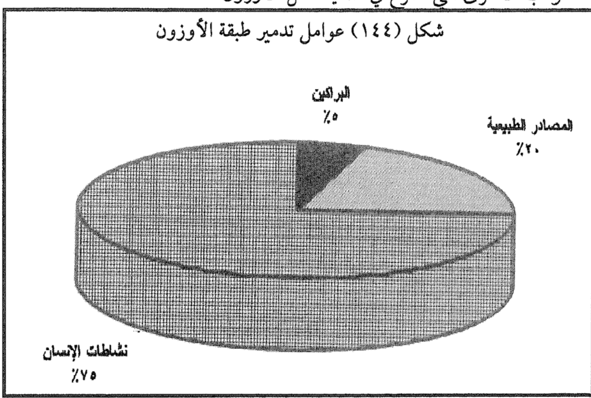
ذكرنا عند الحديث عن التركيب الكيميائي للغلاف الجوي في الفصل الثاني من هذا الكتاب، أن الأوزون هو أحد الغازات التي تدخل في تركيب الغلاف الجوي بنسبة ثابتة. لكن نسبته في الغلاف الجوي ضئيلة جداً، فمن بين مليون جزئ من الهواء لا يوجد سوى سبعة جزيئات أو أقل من الأوزون. ويتركز أكثر من ٩٠٪ من الأوزون الموجود في الغلاف الجوي، في طبقة محددة تقع ضمن طبقة التروبوسير، خاصة على ارتفاع يتراوح بين ٢٥-٥٠ كم.

والأوزون غاز لونه أزرق، رائحته كريهة، واسمه مستمد من كلمة لاتينية معناها الرائحة العفنة أو الكريهة، وتتكون ذرة الأوزون الواحدة من ثلاث ذرات من الأكسجين (O_3). يتكون الأوزون في طبقة الستراتوسفير بشكل طبيعي - خاصة وأن ذرة الأكسجين إذا تعرضت بشكل مباشر لأشعة الشمس فوق البنفسجية - فإنها تنشطر لتتحد أحد ذراتها مع ذرة أكسجين أخرى مكونة ذرة أوزون واحدة.

وأهم الغازات التي تعمل ـ بشكل طبيعي ـ على تآكل طبقة الأوزون هي غازات النيتروجين والهيدروجين والكلور، خاصة وأن تلك الغازات توجد في طبقة

الستراتوسفير، ولو بنسبة ضئيلة. ويبين الشكل (١٤٤) أهم العوامل التي تـؤدي إلى تآكل غاز الأوزون في الغلاف الجوي، إذ يبدو أن العوامل البشرية المرتبطةبالصناعة وغيرها هي المسؤولة الرئيسية والأولى عن تآكل طبقة الأوزون. وتساهم البراكين في تآكل طبقة الأوزون لأنها تزود تلك الطبقة بكميات كبيرة من الكلور ومن الشوائب الأخرى التي تسرع في عملية تآكل الأوزون.

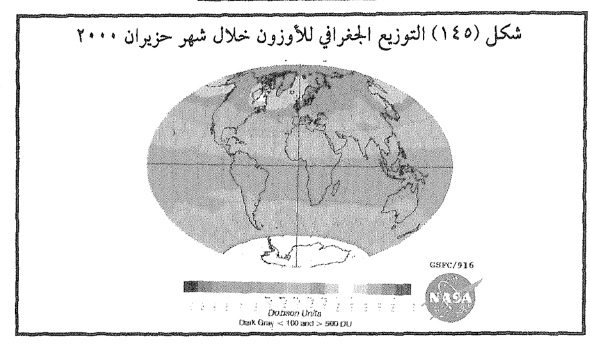
شكل (١٤٤) عوامل تدمير طبقة الأوزون



وتمثل نسبة الأوزون في طبقة الستراتوسفير محصلة عامة تحققت عبر ملايين السنين بين معدلات توليد الأوزون والعوامل الطبيعية لتدميره.

وقد تبين من تحليل تباين نسبة الأوزون في الغلاف الجوي منذ منتصف الستينات أن تلك النسبة تختلف من مكان لآخر ومن وقت لآخر، وأنها تمر في دورات فصلية متتابعة (شكل ١٤٥).

شكل (١٤٥) التوزيع الجغرافي للأوزون خلال شهر حزيران ٢٠٠٠



لكن الثابت علمياً أن نسبة الأوزون تعود في نهاية كل دورة - إذا أهملنا أثر لإنسان - إلى وضعها السابق - دون تغيير. وأهم العوامل التي تؤثر على التباين الزماني والمكاني لنسبة الأوزون هي درجة العرض، والفصل، وشدة الرياح القطبية، ودورة الكلف الشمسي[١].

(٢-١) فوائد طبقة الأوزون

لطبقة الأوزون العليا التي توجد ضمن طبقة الستراتوسفير فوائد جمة، فهي تشبه الفلتر الذي ينقي أشعة الشمس التي تمر من خلاله من الأشعة الضارة التي - لو وصلت جميعها إلى سطح الأرض - فإنها تلحق بالإنسان والنبات والحيوان أذى كبير[٢].

---

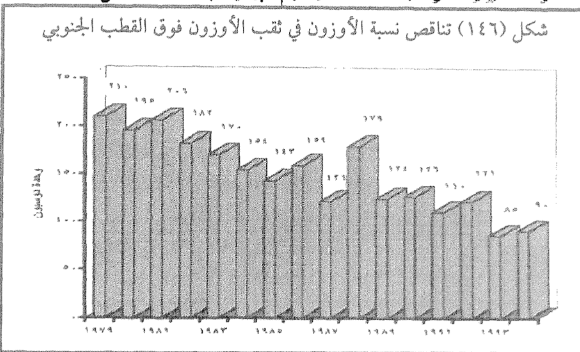
(١) المقصود بالكلف الشمسي هو البقع التي تظهر على سطح الشمس وتكون أقل إضاءة من المناطق المحيطة. وقد تبين أن ظاهرة الكلف الشمسي تمر في دورة مستمرة مدتها أحد عشرة سنة.

(٢) بالرغم من الفوائد الجمة لغاز الأوزون الموجود في طبقة الستراتوسفير، إلا أن لغاز الأوزون الموجود في الطبقة الأسفل من الغلاف الجوي - والذي يعرف مجازاً بـ" الأوزون الأسود" - مضار كثيرة. إذ أنه يساعد على تلف الأنسجة النباتية والحيوانية، كما يدخل في تركيب الضباب الدخاني الذي سبقت الإشارة إليه. وتشير بعض الدراسات الحديثة إلى أن تدهور نسبة الأوزون في الستراتوسفير يساعد على التغير المناخي المتوقع، ويضاعف من تأثير ظاهرة الإنحباس الحراري.

فمن المعروف أن أشعة الشمس فوق البنفسجية تتكون من ثلاث مجموعات متميزة من الأشعة. ويطلق على تلك المجموعات رموزاً معينة هي (A , F, C). أما المجموعة (A) فهي أقل المجموعات ضرراً، ويمر معظمها مـن خـلال طبقـة الأوزون دون أن تعترضه. وأكثر تلك الأشعة ضـرراً هـي المجموعـة (C) الـتي تقـوم طبقـة الأوزون باعتراضها جميعها، ولا تسمح لأي منها بالوصول إلى سطح الأرض. أمـا المجموعـة (B) وهي المجموعة التي ـ لو وصلت سطح الأرض بنسبة كبـيرة، فإنـها تتسـبب في انتشار العديد من الأمراض مثل سرطان الجلد، والعمى، وإضعاف جهاز المناعة في الجسم، كما تلحق أذى كبيراً ببعض أصناف النباتات والأسماك، وغيرهـا - فـإن طبقة الأوزون تمتص ما بين ٩٥-٩٨٪ منها.

(٢-٢) عوامل تدمير طبقة الأوزون

تسهم النشاطات البشـرية بما نسبته ٧٥-٨٥٪ مـن تـآكل طبقـة الأوزون، بينمـا تسـهم العمليات الطبيعية المتنوعة بـ١٥-٢٠٪، وتسهم البراكين بـ ١- ٥٪ (شكل ١٤٦).



شكل (١٤٦) تناقص نسبة الأوزون في ثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي

وترتبط معظم النشاطات البشرية التي تعمـل علـى تدمـير طبقـة الأوزون باسـتخدام مركبات كيميائية تعرف بالمركبات الكلوروفلوروكربونية (CFC's). وهـي مركبـات

خاصة تتكون من ذرة كربون واحدة، وذرة فلور واحدة، وثلاث ذرات من الكلور. تمتاز هذه المركبات بعدد من الخصائص الحميدة التي تجعلها مفضلة في كثير من الصناعات الحديثة. فهي مركبات مستقرة، غير سامة، ولا تعمل على تآكل المواد، كما أنها غير قابلة للاشتعال، ولا تتفاعل مع معظم الغازات أو المركبات الأخرى.

ولهذا فقد استعملت منذ منتصف الثلاثينات في صناعة مواد التنظيف الخاصة بالأجهزة والمعدات الكهربائية، كما انتشر استعمالها منذ منتصف السبعينات في اسطوانات التبريد الخاصة بالثلاجات والمكيفات وغيرها. إلا أنه قد تبين منذ عقد السبعينات، أن لتلك المواد آثاراً جسيمة على تدمير طبقة الأوزون، خاصة وأن عمر تلك المركبات طويل جداً، مما يتيح لها الفرصة للوصول في يوم ما إلى طبقة الستراتوسفير. وعندما تصل إلى تلك الطبقة، فإنها تعمل على تفكيك ذرات الأوزون وتدميرها. والغريب أن لها قدرة تدميرية هائلة، إذ أن ذرة كلور واحدة من الذرات التي تدخل في تركيبها تستطيع أن تدمر ١٠٠٠٠٠ ذرة من الأوزون.

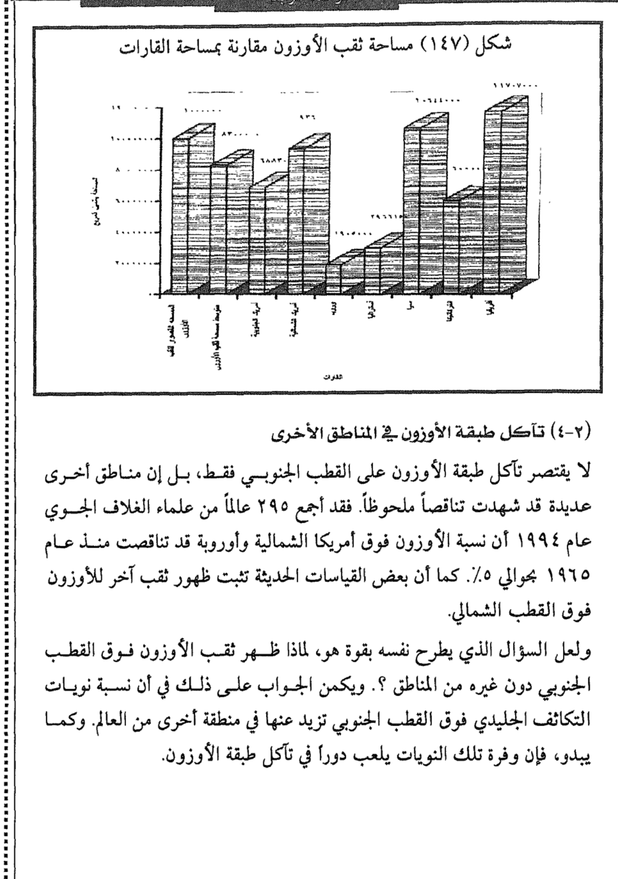
ولهذا، فقد بدأت دول العالم الصناعية منذ أواخر السبعينات باتخاذ سلسة من الإجراءات التي تحد من استخدام تلك المركبات في الصناعة. فقد منعت الولايات المتحدة منذ عام ١٩٧٨ استعمالها في كثير من النشاطات الصناعية خاصة المنظفات. وفي عام ١٩٨٠ حذت عدد من الدول حذو الولايات المتحدة. وتم في عام ١٩٨٧ توقيع اتفاقية فينا التي تعهدت فيها الولايات المتحدة و٢٣ دولة أخرى بالحد من استخدام المركبات الكلوروفلوروكربونية بنهاية عام ١٩٩٩. وقد تمت مراجعة تلك الاتفاقية مرة ثانية عام ١٩٩٠ لزيادة فعاليتها في التخلص من تلك المركبات تعهدت بالقضاء كلياً على تصنيع واستخدام المركبات الكلوروفلوركربونية في الصناعة بنهاية عام ٢٠٠٠ ، ورصدت ٢٤٠ مليون دولار لمساعدة الدول النامية على التخلص من تلك المركبات

(٢-٣) ثقب الأوزون

أدركت مجموعة من العلماء البريطانيين الذين كانوا يقومون برصد الغلاف الجوي في المنطقة القطبية الجنوبية منذ عام ١٩٥٧، أن نسبة الأوزون تنخفض في الربيع كثيراً، لتعود فترتفع ثانية في الصيف.

إلا أنهم لاحظوا أنه ـ ومنذ عام ١٩٨٠ ـ فإن نسبة الأوزون تنخفض في كل سنة عما سبقتها (شكل ١٤٦). وقد اعتقد أولئك العلماء ـ في البداية ـ أن خطأً في القياس قد أوحى لهم بذلك، إلا أن قياسات أخرى أكثر دقة وتطوراً شاركت فيها فرق علمية كبيرة من الولايات المتحدة ومن دول أخرى، قد أثبتت صحة تلك القياسات، كما أثبتت أن تآكل طبقة الأوزون يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالنشاطات البشرية. وكما ورد في العدد الصادر في الثالث من أغسطس ١٩٩٥ من مجلة (Nature)، فإن نسبة الأوزون فوق القارة المتجمدة الجنوبية كانت تشهد تناقصاً مستمراً منذ عشرة أعوام، كما أن مدة بقاء ثقب الأوزون كانت تزداد في كل سنة عن سابقتها

وقد قدرت مساحة ثقب الأوزون عام ١٩٩٤ بحوالي ٢٠ مليون كم٢، أو ما يعادل مساحة أمريكا الشمالية بأكملها . والأسوأ من ذلك، أن تلك المساحة تزداد في كل سنة زيادة كبيرة، بحيث أصبحت تعادل ضعفي مساحتها عام ١٩٩٤. ويبين الشكل (١٤٧) مساحة ثقب الأوزون مقارنة بمساحة القارات المختلفة. ويتوقع بعض علماء المناخ أنه ـ إذا استمر معدل الزيادة الحالي ـ فإن الأوزون سيتلاشى تماماً من تلك الطبقة عام ٢٠٥٠.



شكل (١٤٧) مساحة ثقب الأوزون مقارنة بمساحة القارات

(٢-٤) تآكل طبقة الأوزون في المناطق الأخرى

لا يقتصر تآكل طبقة الأوزون على القطب الجنوبي فقط، بل إن مناطق أخرى عديدة قد شهدت تناقصاً ملحوظاً. فقد أجمع ٢٩٥ عالماً من علماء الغلاف الجوي عام ١٩٩٤ أن نسبة الأوزون فوق أمريكا الشمالية وأوروبة قد تناقصت منذ عام ١٩٦٥ بحوالي ٥٪. كما أن بعض القياسات الحديثة تثبت ظهور ثقب آخر للأوزون فوق القطب الشمالي.

ولعل السؤال الذي يطرح نفسه بقوة هو، لماذا ظهر ثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي دون غيره من المناطق ؟. ويكمن الجواب على ذلك في أن نسبة نويات التكاثف الجليدي فوق القطب الجنوبي تزيد عنها في منطقة أخرى من العالم. وكما يبدو، فإن وفرة تلك النويات يلعب دوراً في تآكل طبقة الأوزون.

(٢-٥) بعض نتائج تآكل طبقة الأوزون

يؤدي تآكل طبقة الأوزون إلى نتائج خطيرة تشمل معظم عناصر النظام البيئي. وأهم تلك النتائج هي ارتفاع نسبة الأشعة فوق البنفسجية التي تصل سطح الأرض. فقد ارتفعت نسبة تلك الأشعة ـ خلال السنوات الأخيرة في معظم المناطق المعتدلة خاصة في أوروبة وأمريكا الشمالية بنسبة ١٣-١٥٪ . كما ارتفعت نسبة الإصابة بسرطان الجلد، بحيث أصبحت نسبة الإصابة به تعادل نسبة الإصابة بأنواع السرطان الأخرى مجتمعة. وقد تم تسجيل اكثر من مليون إصابة جديدة عام ١٩٩٤. وتعتقد بعض الأوساط العلمية التابعة للأمم المتحدة أن نسبة الإصابة بسرطان الجلد ستبلغ عام ٢٠٥٠، حوالي ١٢٥٪ من نسبتها الحالية

وتقوم منظمة الأرصاد الجوية العالمية منذ عام ١٩٩٠ بنشر خرائط يومية للتوزيع الجغرافي لطبقة الأوزون في النصف الشمالي من الكرة الأرضية خلال الفترة الممتدة من بداية نوفمبر إلى نهاية مارس. ويتم رسم تلك الخرائط من البيانات التي يتم جمعها من ٩٠ محطة مناخية أرضية خاصة برصد طبقة الأوزون. ويتم تعزيز تلك البيانات باستخدام بيانات أخرى تجمعها أقمار صناعية خاصة مثل القمر (SBUV-2). ويتم إعداد وتوزيع تلك الخرائط يوميا عن طريق مركز خاص تابع لمنظمة الأرصاد العالمية يديره مركز الفيزياء الجوية في جامعة ثيسالونيكي (Thessaloniki) في اليونان[1].

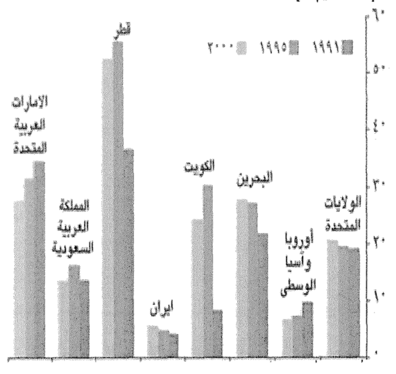
(١) يمكن الإطلاع على أحدث تلك الخرائط يومياً من خلال الموقع التالي على شبكة الإنترنيت :

(http://www.athena.auth.gr/ozonemaps/)

نشاطات الفصل التاسع عشر

النشاط الأول: يبين الشكل التالي معدلات انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون من الفرد الواحد في عدد من الدول العربية ودول أخرى والمطلوب كتابة تقرير لا يزيد عن صفحة واحدة تعقيبا على هذا الشكل.

شكل (١٤٨) انبعاث ثاني أكسيد الكربون من دولة الإمارات العربية المتحدة ودول أخرى



النشاط الثاني: يمثل الجدول (١٨) دورة الكربون في الطبيعة. والمطلوب هو تحليل ذلك الجدول والتعليق عليه في تقرير علمي قصير لا يزيد على نصف صفحة

الجدول (١٨) دورة الكربون في الطبيعة

من	إلى	الوسيلة	طبيعة التغير
الغلاف الجوي	البحار والمحيطات	تغذية البلانكتون	تناقص نسبة الكربون الذي ينتقل الى المياه بسبب موت البلانكتون بفعل تلوث مياه البحار والمحيطات
الغلاف الجوي	النباتات	عملية التمثيل الضوئي	تناقص نسبة الكربون الذي ينتقل الى النباتات بفعل عملية التصحر واجتثاث الغابات
النباتات	الغلاف الجوي	عملية التنفس في الليل	تناقص نسبة الكربون الذي ينتقل الى النباتات بفعل عملية التصحر واجتثاث الغابات
الانسان	الغلاف الجوي	التنفس	زيادة في تزويد الغلاف الجوي بالكربون بسبب الزيادة السكانية
التربة	الغلاف الجوي	تحلل الصخور الكلسية العضوية وصخور الدولوميت	تناقص بسبب تلوث التربة
البراكين	الغلاف الجوي	ثوران البراكين	*

الفصل العشرون

ظاهرة النينو

النينو كلمة إسبانية معناها " الطفل حديث الولادة "، وربما تكون تلك الكلمة قد دخلت إلى الإسبانية من اللغة العربية، وأن تكون محرفة من الكلمة العربية المحلية " النونو " التي تطلق – في كثير من البلدان العربية خاصة أقطار شمال أفريقيا – على الطفل الرضيع. وقد كان سكان أمريكا الجنوبية الأصليون من الهنود الحمر يطلقون اسم " النينو" على المياه الدافئة للمحيط الهادئ التي تظهر عند شواطئ بيرو والإكوادور أيام عيد الميلاد. إذ أن ظهور تلك المياه كان يقترن ـ في العادة ـ بشتاء بارد، تتخلله اضطرابات جوية عنيفة وتسقط فيه أمطار غزيرة تتسبب في حدوث سيول وفيضانات مدمرة.

وظاهرة النينو ليست ظاهرة هيدرولوجية فحسب، بل هي ظاهرة مناخية عظمى تؤثر على مناخ مناطق عدة من العالم، فتؤدي في بعض المناطق إلى سقوط أمطار غزيرة، وحدوث فيضانات مدمرة. وتؤدي في مناطق أخرى إلى انتشار الجفاف، وتلحق بالنظام البيئي أضراراً فادحة. والحقيقة أن تأثير النينو على مناخ العالم يختلف من منطقة لأخرى، فبينما يؤدي في بعض المناطق إلى ارتفاع ملحوظ لدرجة الحرارة، فإنه يؤدي في مناطق أخرى إلى انخفاضها. ونظراً للتأثير الكبير لظاهرة النينو على مناخ العالم، فإن بعض علماء المناخ يضعها في المرتبة الثالثة بعد الفصول الأربعة وتعاقب الليل والنهار.

وبالرغم من الأهمية الكبرى لظاهرة النينو، ومن كونها ظاهرة قديمة تحدث بشكل شبه دوري منذ ملايين السنين، فإنها لم تحظ باهتمام الأوساط العلمية إلا حديثاً، خاصة بعد تأثيراتها الكبرى على مناخ العالم خلال شتاء ١٩٨٢، والخسائر الفادحة التي تسببت فيها، والتي تجاوزت ثمانية بلايين دولار.

(١) نشأة النينو

ذكرنا في الفصل السادس أن الرياح السائدة في المناطق الاستوائية هي رياح شرقية، خاصة وأن تأثير قوة كوروليوس يكاد يكون معدوماً في تلك المناطق. تعمل تلك الرياح ـ خاصة خلال فصل الصيف ـ على دفع الطبقة السطحية الدافئة من مياه المحيط الهادئ باتجاه الشرق وتجميعها في منطقة الأوقيانوسية، بحيث تصبح تلك المنطقة خلال أشهر الصيف منطقة تجمع للمياه الدافئة التي تزيد درجة حرارتها على درجة حرارة المياه الأخرى المحيطة بها[١].

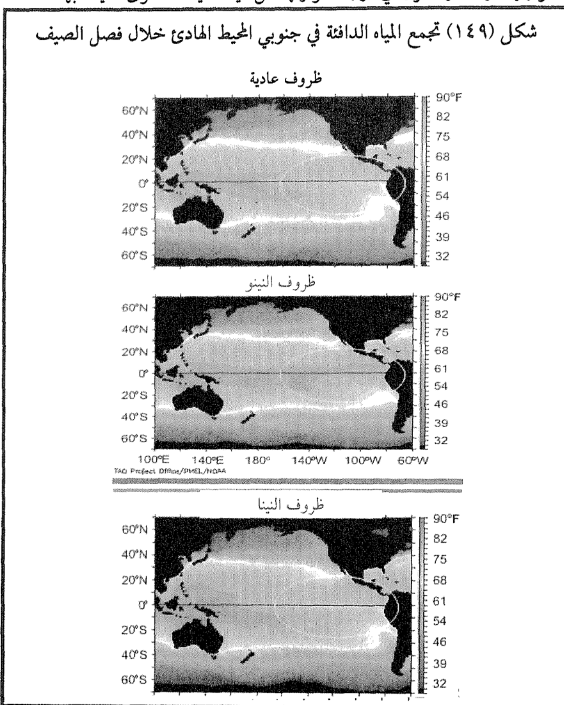
ولحسن الحظ، فإن الأقمار الاصطناعية الأمريكية والفرنسية واليابانية والروسية وغيرها تقوم ـ على مدار الساعة ـ بمراقبة تجمع تلك المياه، واستشعار درجة حرارتها، وتحديد مساحتها، وتقدير سمكها، وتزود المراكز العلمية الرئيسة لأبحاث الغلاف الجوي بتلك البيانات، مما يمكن العلماء من التنبؤ الدقيق بموعد حدوث النينو وبالتغيرات الرئيسة التي سيحدثها. وتمثل تلك المراقبة المشتركة تعاوناً وثيقاً من قبل تلك الدول في مجال استخدام الفضاء للأغراض السلمية. وقد أثمر ذلك التعاون بشكل واضح في مراقبة نينو ١٩٩٧/١٩٩٨ الذي كانت تلك الأقمار قد رصدته قبل حدوثه ونبهت إلى اتساعه وقوته وإلى مدى ضخامة التأثيرات المتوقعة له على مناخ العالم.

يعزو العلماء تكون النينو إلى ضعف الرياح التجارية الشرقية التي تشكل الرياح السائدة في المنطقة الاستوائية من المحيط الهادئ، وهبوب رياح غربية بدلاً منها. فالرياح الشرقية ـ وهي الرياح السائدة في المناطق المدارية والاستوائية ـ تعمل دائماً على دفع الطبقة السطحية الدافئة من مياه المحيط الهادئ نحو الغرب، وتجميعها في

---

(١) بالرغم من قيام الرياح الشرقية بالدور نفسه في كل البحار والمحيطات الواقعة في المنطقة الأستوائية كالمحيط الأطلسي والهندي، إلا أننا سنقصر حديثنا هنا على المحيط الهادئ فقط، وذلك لكونه المحيط الوحيد الذي تظهر فيه ظاهرة النينو دون غيره. وقد احتار علماء المناخ في تفسير السبب في اقتصار تلك الظاهرة على المحيط الهادئ فقط، وعزوها إلى عوامل عدة أهمها اتساع مساحته، وعدم تداخله مع اليابسة، مما يؤهله لأن يكون ـ خاصة خلال فصل الشتاء ـ مخزناً ضخماً للطاقة الحرارية.

منطقة الأوقيانوسية. وتقوم الأقمار الاصطناعية الأمريكية والفرنسية والروسية واليابانية بمراقبة تجمع تلك المياه وترصد كما هو مبين في شكل (١٤٩) درجة حرارتها، ومقدار الفرق في درجة حرارتها عن مياه المحيط الأخرى المحيطة بها.



شكل (١٤٩) تجمع المياه الدافئة في جنوبي المحيط الهادئ خلال فصل الصيف

ويرتبط حدوث النينو في بعض السنوات دون غيرها، إلى ضعف مفاجئ يصيب الرياح الشرقية، وإلى انحسارها وحلول رياح غربية مكانها. ولا يستطيع العلماء حتى الآن تفسير الأسباب التي تؤدي إلى ضعف الرياح الشرقية في تلك السنوات دون غيرها، لكنهم يجمعون على أن الرياح الغربية التي تحل مكانها تقوم بدفع كتلة المياه الدافئة التي تجمعت خلال فصل الصيف في منطقة الأوقيانوسية نحو الشرق، بحيث تصل إلى سواحل بيرو في أواخر شهر ديسمبر وأوائل يناير، خاصة أيام عيد الميلاد، ولهذا كان السكان المحليون يطلقون عليها اسم نينو بمعنى الطفل حديث الولادة.

(٢) الآثار المناخية لظاهرة النينو

يتبين من تحليل الصور الفضائية للغيوم، ولمواقع التيارات الجوية النفاثة، ولمسارات الأعاصير المدارية، والمنخفضات الجوية، أن لظاهرة النينو أبعاد مناخية كبيرة، وأن آثارها المناخية لا تبقى محصورة في منطقة المحيط الهادئ، بل تمتد إلى مناطق مختلفة من العالم. ويعود السبب في ذلك إلى أن اندفاع كتلة المياه الدافئة من موقعها في مياه الأوقيانوسية، باتجاه السواحل الغربية لأمريكا الجنوبية، يؤدي إلى تكون أمواج كوكبية في الطبقات العليا للغلاف الجوي، وإلى حدوث تغيرات هامة في مواقع التيارت الجوية المدارية النفاثة، ومواقع الكتل الهوائية، مما يخلق تأثيرات كبيرة على الطقس في مناطق عدة من العالم، وإلى حدوث ظواهر جوية عنيفة في مناطق كثيرة.

تجمع التقارير العلمية والدراسات المناخية الحديثة، التي صدرت خلال الشهرين الماضيين من المؤسسات العلمية الكبرى في الولايات المتحدة، وغيرها من الدول المتقدمة، مثل المركز الوطني الأمريكي لإدارة البحار والغلاف الجوي، والإدارة الوطنية الأمريكية للفضاء والملاحة الجوية، ومعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا وغيرها، بأن معظم مناطق العالم ستشهد خلال فصل الشتاء القادم طقساً عاصفاً، واضطرابات جوية عنيفة، وأن ما سيشهده العالم خلال الشهور الثلاث القادمة سيكون الحدث الأهم خلال القرن الحالي. ومما يؤكد تلك التوقعات، البيانات اليومية التي تجمعها الأقمار الصناعية الأمريكية والفرنسية واليابانية عن ظاهرة

جوية عظمى بدأت تتشكل في المناطق الاستوائية من المحيط الهادي خلال الشهور الثلاثة الماضية هي ظاهرة النينو.

ولكن من المتوقع أن يفوق نينو هذا العام. وتبين الأمثلة التالية شواهد بسيطة لبعض الإضرابات الجوية العنيفة التي شهدتها مناطق مختلفة هذا العام والتي يربط العلماء بينها وبين نينو هذا العام، وإن كان من المتوقع أن يبلغ تأثير النينو أشده خلال الأشهر الثلاث القادمة (يناير و فبراير و مارس):

- الاضطرابات الجوية العنيفة، والأمطار المدمرة، التي تعرضت لها الصومال خلال الأسبوعين الماضيين وأدت إلى فيضانات مدمرة ذهب ضحيتها حوالي ١٣٠٠ شخص، وألحقت خسائر مادية تقدر بمئات الملايين من الدولارات.
- الاضطرابات الجوية العنيفة التي تعرضت لها بعض دول أمريكا الوسطى والساحل الغربي للولايات المتحدة وبعض جزر البحر الكاريبي في بداية أكتوبر ١٩٩٧، وأدت إلى فيضانات مدمرة وخسائر فادحة.
- وتؤكد بعض الأوساط العلمية، أن تأثير ظاهرة النينو يمتد إلى منطقة الشرق الأوسط. ولذا فإن الاضطرابات الجوية العنيفة التي شهدتها المناطق التالية خلال الشهر الحالي وشهر أكتوبر الماضي، قد تكون مرتبطة بنينو هذا العام.
- العاصفة المدمرة التي تعرضت لها مدينة أريحا في منتصف شهر أكتوبر، حيث هطلت خلال ساعات قليلة، أمطار عنيفة لم تشهد لها المدينة مثيلاً في التاريخ المعاصر، مما أدى إلى خسائر تجاوزت قيمتها حوالي أربعة عشر مليون دولار. علماً بأن مناخ مدينة أريحا مناخ جاف، ولا يزيد معدل الأمطار السنوية فيها عن ١٢٠ مم.
- العاصفة الشديدة التي تعرضت لها مدينة دبي وبعض الإمارات الشمالية صباح يوم ١٣/ ١٠/ ١٩٩٧م.
- العواصف والأمطار الغزيرة التي تعرضت لها المناطق الشمالية من مصر وجبال البحر الأحمر في بداية أكتوبر.

نشاطات الفصل العشرون

النشاط الأول: يتضمن الموقع التالي

(http://www.pbs.org/wgbh/nova/elnino/reach/across.html)

خريطة للكرة الأرضية تستطيع بواسطة النقر على أي مكان فيها، أن تزودك بمعلومات حول تأثير ظاهرة النينو على ذلك المكان.

المطلوب أن ترجع إلى ذلك الموقع، وأن تستخدم تلك الخريطة في بيان ظاهرة النينو على عدد من المواقع المختارة بعناية بحيث تمكنك من كتابة تقرير علمي مختصر عن تأثير ظاهرة النينو.

النشاط الثاني: الموقع التالي (http://www.pbs.org/wgbh/nova/elnino /#) هو موقع رئيسي لظاهرة النينو على شبكة الانترنيت. ارجع إلى ذلك الموقع واكتب تقريرا قصيرا عن الجوانب المختلفة لظاهرة النينو التي يغطيها ذلك الموقع.

الفصل الحادي والعشرون

الجزيرة الحرارية

مصطلح "الجزيرة الحرارية" مصطلح مناخي حديث يطلق على ظاهرة ارتفاع درجة الحرارة في المدن الكبيرة عنها في المناطق الريفية المحيطة بها. فقد وجد عدد كبير من الباحثين أن درجة الحرارة العظمى لوسط المدينة تزيد عنها في المناطق الريفية المجاورة بحوالي ٢-٥° م في المعدل. لكن ذلك يختلف من مدينة لأخرى، فالجزيرة الحرارية لمدينة نيويورك تبلغ ٦,٥° م، وتصل في مدينة مكسيكو سيتي (Mexico City) إلى ١٠° م[1].

والجزيرة الحرارية ظاهرة أوجدها الإنسان بتغييره لنمط استخدام الأرض داخل المدينة عن طريق اجتثاثه مساحات واسعة من الأشجار والأراضي الزراعية وإحلاله مكانها مناطق سكنية مبنية من الخرسانة، وشوارع معبدة بالإسفلت وأرصفة شوارع، ومواقف سيارات. فمن المعروف أن معامل انعكاس الأشعة من مواد البناء خاصة ذات الألوان الغامقة ومن الإسفلت، وأرصفة الشوارع، ومواقف السيارات، وغيرها من نظم استخدامات الأراضي في المدن يقل كثيراً عنه في المناطق الريفية. كما أن للأشجار ظل على الأرض يقلل من ارتفاع درجة الحرارة كما أن فقدانها للرطوبة عن طريق النتح يساعد في تبريد المكان. كما أن تعبيد سطح الأرض يقلل من رطوبة التربة ويزيد من نسبة الصبيب المائي للمجاري المائية الرئيسة. ولهذا فإن المناطق التي تكثر فيها الأشجار تظهر كمناطق خضراء في شكل (١٥٠) التي تمثل صورة جوية لمدينة باتن روج (Baton Rouge) في ولاية لويزيانا الأمريكية التقطتها كاميرا خاصة

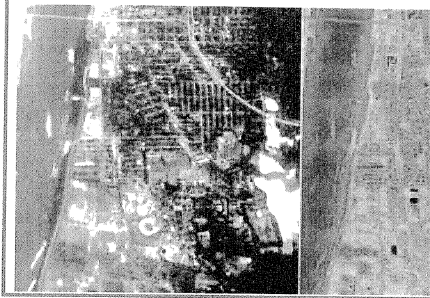
---

(١) لمزيد من التفصيلات، انظر الموقع التالي على شبكة الانترنيت :

(http:/www.eren.doe.gov/cities-countries/coolcit.html).

من على طائرة تابعة لوكالة الفضاء الأمريكية تحلق على ارتفاع ٢كم، ظهر يوم الإثنين الموافق ١٨/ ٥/ ١٩٩٨. ويتبين من قياس درجة حرارة تلك المناطق باستخدام عدد كبير من مقاييس الحرارة الخاصة، أن درجة حرارتها لم تكن تزيد في تلك الساعة عن ٢٥° م. أما أسطح المباني، وغيرها من الأماكن التي تمتص معظم الأشعة الشمسية التي تصل إليها، ولا تعكس منها إلا القليل، فتظهر في الصورة بقعاً حمراء تزيد درجة حرارتها عن ٦٥° م.

شكل (١٥٠) الجزيرة الحرارية لمدينة باتن روج في ولاية لويزيانا يوم ١٨ أيار ١٩٩٨





(١) آثار الجزيرة الحرارية

يضاعف ارتفاع درجة الحرارة في وسط المدن خلال فصل الصيف من ضيق السكان ويزيد من استخدام الوسائل الحديثة للتبريد والتكييف. ويقدر لاماشيا (LaMacchia) أن الجزيرة الحرارية لمدينة لوس انجلوس تزيد من تكاليف استخدام الطاقة خلال أشهر الصيف بمعدل ١٠٠٠٠٠ دولار في الساعة. وطبقاً لدراسات أعدها قسم الطاقة التابع لمختبرات بيركلي الوطنية في كاليفورنيا، فإن الولايات المتحدة تتكبد سنوياً بسبب ظاهرة الجزيرة الحرارية حوالي ٥-١٠ بليون دولار في مجال استهلاك الطاقة، وخمسة بلايين أخرى بسبب الأمراض الناجمة عن انتشار

الضباب الدخاني وتآكل طبقة الأوزون. وأن مدينة لوس انجلوس تتكبد سنوياً حوالي ٣٥٠ مليون دولار من ارتفاع تكاليف استخدام الطاقة، و٣٥٠ مليون أخرى من انتشار الضباب[1]. وتقدر الزيادة في تكاليف الطاقة المستخدمة في التبريد لمدينة يصل عدد سكانها إلى ١٠٠٠٠٠ نسمة بحوالي ١,٥-٢٪ كلما ارتفعت درجة حرارتها ٠,٦° م.

(٢) إجراءات الحد من الجزيرة الحرارية

أصبحت ظاهرة الجزيرة الحرارية في أيامنا من الظواهر المناخية الهامة التي تؤثر على الموازنات المالية للمدن الكبيرة تأثيراً خطيراً. ولهذا فقد خصصت لها وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) وعدد من مراكز البحث العلمي في الولايات المتحدة بالتعاون مع بلديات تلك المدن برامج بحثية رئيسة لرصدها وتحديد مداها وتقدير الخسائر الناجمة عنها واقتراح أفضل السبل لمعالجتها. ويتم حالاً رصد تلك الظاهرة في عدد من المدن الأمريكية مثل لوس انجلوس، وسكرمنتو، وسولت ليك سيتي، ونيويورك، وأتلانتا وغيرها.

ويمكن تلخيص أهم الاستراتيجيات المستخدمة للحد من تأثير الجزيرة الحرارية في زراعة؛ المزيد من الأشجار، وزيادة الرقعة الخضراء في المدينة، وتبييض المباني من الخارج، واستخدام مواد بناء فاتحة اللون. فالأشجار تحد من تأثير الجزيرة الحرارية وتخفض معدلات استهلاك الطاقة بوسيلتين رئيستين هما التظليل والنتح. أما دور التظليل فمن السهل قياسه وتقديره، فيقدر الباحثون أن يؤدي تشجير المدن الأمريكية بالشكل المناسب إلى تخفيض نفقات استخدام الطاقة بنسبة ٢٠-٢٥٪، وأن تقل تكلفة تبريد مسكن واحد مظلل تظليلا جيداً في فلوريدا بحوالي ٤٠٪، وأن يؤدي تظليل مسكن واحد في وسط بنسلفانيا إلى خفض فاتورة الكهرباء المستخدمة للتبريد بحوالي ٧٥٪.

---

(١) لمزيد من التفصيلات انظر

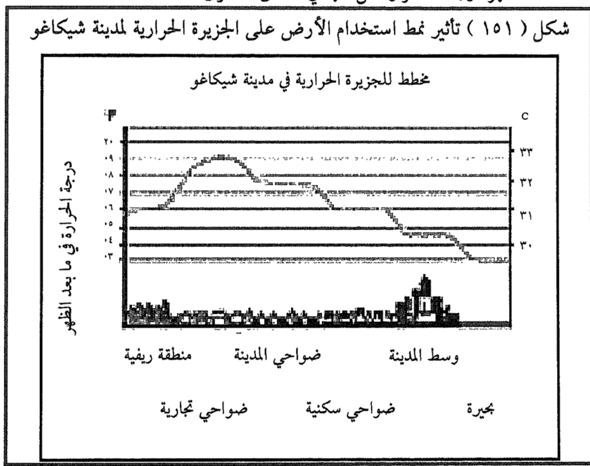
(http:/www.cedar.univie.ac.at/arch/habitat2/96jan/msg00056.html)

وعلى النقيض من التظليل، فإن دور النتح في الحد من تأثير الجزيرة الحرارية يصعب قياسه وتقديره بدقة، لكن عدداً من النماذج المناخية يدل على أن زراعة ثلاث أو أربع أشجار في الأماكن المواجهة للشمس من كل بيت، يمكن أن يخفض تكاليف التبريد بنسبة ٣٠٪ في مدينة سكرمنتو (كاليفورنيا)، و١٧٪ في مدينة فونيكس في ولاية أريزونا، و٢٣٪ في ليك شارلز في لويزيانا. ويساهم التظليل بنسبة ١٠-٣٥٪ من تلك الاقتطاعات، بينما يعود الباقي للنتح

(٣) التوزيع الجغرافي للجزيرة الحرارية في المدينة

تبلغ الجزيرة الحرارية ـ كما هو مبين في الشكل (١٥١)، أقصى حد لها في مركز المدينة، وتضعف ويقل تأثيرها باتجاه الأطراف. ويظهر في مناطق الضواحي القريبة المزدحمة بالسكان مراكز فرعية للجزيرة الحرارية. أما في الحدائق العامة والمناطق المفتوحة والقليلة السكان، فتظهر درجات الحرارة أقل منها في المناطق الأخرى.

شكل (١٥١) تأثير نمط استخدام الأرض على الجزيرة الحرارية لمدينة شيكاغو



(٤) الجزيرة الحرارية خلال فصل الشتاء

لا يقتصر وجود الجزيرة الحرارية على فصل الصيف فقط، بل تظهر خلال فصل الشتاء أيضاً، خاصة في المدن الكبيرة من المناطق الباردة والمعتدلة. إذ يساهم تركز السكان في تلك المدن وانتشار الصناعة والتجارة وازدحام الطرق بالسيارات وغيرها، في ارتفاع درجة حرارة تلك المدن عن المناطق الريفية المحيطة بها خاصة خلال الليل أو في ساعات الصباح الباكر.

وأهم العوامل التي تؤثر على حجم الجزيرة الحرارية وشدتها، هي :

١ - حجم المدينة وتخطيطها: يزداد تأثير الجزيرة الحرارية في المدن الكبيرة ذات المباني المتقاربة متعددة الطوابق التي تفصل بينها شوارع ضيقة، ويقل في المدن الصغيرة ذات المباني الصغيرة المتباعدة التي تفصل بينها شوارع متسعة.

٢ - كثافة السكان: تشير دراسات كثيرة إلى أنه كلما تضاعف عدد سكان المدينة عشرة أضعاف، يزداد الفرق في درجة الحرارة بين وسط تلك المدينة والمناطق الريفية المجاورة لها درجة مئوية واحدة.

٣ - تركز الصناعة في المدن: فالجزيرة الحرارية للمدن الصناعية الكبيرة التي ينتشر في أجوائها التلوث تزيد كثيراً عنها في المدن التي تخلوا من الصناعة.

٤ - الخصائص المناخية: تعمل خشونة سطح المدن الكبيرة على خفض سرعة الرياح، كما أن تعبيد مساحات كبيرة من المدينة يعمل على تقليل التبخر ويرفع درجة الحرارة.

ويبلغ الاختلاف في درجة الحرارة بين المدينة والريف أقصاه في ساعات الصباح الأولى، ويظهر واضحاً في الخرائط التي تبين التوزيع الجغرافي لدرجة الحرارة الصغرى ويقل في الأيام التي يتوقف فيها العمل مثل العطل الرسمية وعطل نهاية الأسبوع.

ومن الآثار الهامة للجزيرة الحرارية على مناخ تلك المدن خفض احتمالات الصقيع، وزيادة طول فصل النمو، كما تصبح الانعكاسات الحرارية أقل حدوثاً.

نشاطات الفصل الحادي والعشرون

النشاط الأول: الموقع التالي على شبكة الانترنيت

(http://eetd.lbl.gov/HeatIsland)

موقع رئيسي يتضمن معلومات مهمة عن الجوانب الرئيسية لظاهرة الجزيرة الحرارية، والمطلوب اختيار أحد الموضوعات التي يتضمنها ذلك الموقع وكتابة تقرير علمي قصيرعنه.

النشاط الثاني: يتضمن الموقع التالي

(http://www.epa.gov/heatisland/pilot/sacramento.html)

مقالا عن الجزيرة الحرارية لمدينة سكرمنتو في ولاية كاليفورنيا، كما يتضمن صورة فضائية لتلك الجزيرة. المطلوب الرجوع إلى ذلك المقال وكتابة تقرير علمي قصير عنه.

ملحق (١)

جدول (١) معيار أداء خاص بتقويم تقديم الطلبة للتكليفات

العنصر	أ	ب	جـ
المحتوى العلمي	كاف، ومتنوع، وجديد، وتبدوا شخصية الطالب واضحة في حسن اختياره، وتنسيقه وتنظيمه	كاف، ومتنوع، وجديد نسبيا	غير كاف، وغير متنوع، ومأخوذ كما ورد من مصدره الأصلي
التنظيم والترابط	تسلسل منطقي للفقرات، ترابط قوي عند الانتقال من فقرة لأخرى	تسلسل الفقرات منطقي ولكن درجة الترابط بينها متوسطة	تسلسل الفقرات غير منطقي ودرجة الترابط بينها متوسطة
استخدام التكنولوجيا	استخدام ممتاز للتكنولوجيا في الإعداد والتقديم	استخدام جيد للتكنولوجيا في الإعداد والتقديم	استخدام مقبول للتكنولوجيا في الإعداد والتقديم
مهارات الإتصال	اعتماد كلي على الذات في التقديم والتوضيح وعدم اللجوء إلى القراءة من النص إطلاقا	القراءة من النص أحيانا	القراءة من النص كليا وقلة التفاعل مع المستمعين
التفاعل مع الطلبة	تفاعل ممتاز مع طلبة الصف	تفاعل متوسط مع طلبة الصف	تفاعل ضعيف مع طلبة الصف
مدة التقديم	تقيد تام بالوقت المحدد	تجاوز بسيط للوقت المحدد	تجاوز كبير للوقت المحدد

جدول (٢) معيار أداء خاص بتقويم البحوث العلمية

العنصر	مستوى الأداء				
	٣	٢	١	الوزن	المعدل
عنوان البحث	مختصر، وواضح، ومحدد ويعبر عن مضمون البحث وعن منهجيته	يعبر عن مضمون البحث ومنهجيته بشكل مقبول، غير واضح تماما	لا يعبر عن مضمون البحث	٥	
أهداف البحث	محددة بشكل دقيق، ومرتبطة بمشكلة البحث ارتباطا قويا،	محددة بشكل عام ومرتبطة بمشكلة البحث ارتباطا مقبولا	غير مرتبطة بمشكلة البحث	١٠	
مشكلة البحث	ذات طبيعه شموليه، معاصرة، بالغة الأهمية، ومحددة بشكل دقيق، ومرتبطة بهدف المساق ارتباطاً قويا، وقابله للبحث	محددة بشكل مقبول، ومرتبطة بهدف المساق ارتباطاً قويا، وقابله للبحث	المشكلة غير شموليه غير محددة تحديدا دقيقا، وليست مهمة، وارتباطها بالهدف ضعيف	١٠	
الدراسات السابقة	بيان مدى توفرها، ومراجعة شاملة لها (كتب ودوريات وانترنيت وصحف وغيرها)	بيان مدى توفرها ومراجعة مقبولة لها (كتب ودوريات وانترنيت وصحف وغيرها)	مراجعة قاصرة لها	١٠	

العنصر	مستوى الأداء				
	٣	٢	١	الوزن	المعدل
فرضية البحث	محددة تحديدا دقيقا، قصيره وواضحه، وتم اختبارها بأسلوب علمي سليم	محددة تحديدا دقيقا، قصيره وواضحه، وتم اختبارها بأسلوب علمي مقبول	غير علمية، وغير محددة وضعيفة الصياغة، ولم يتم اختبارها بشكل سليم	١٠	
البيانات	تحديد دقيق لمعظم مصادر البيانات بما فيها الانترنيت، بيانات شاملة وكافية وتتضمن بيانات اوليه ومرتبطة بمشكلة البحث	تحديد مصادر البيانات التقليدية، بيانات شاملة وكافية.	تحديد مصادر البيانات التقليدية، بيانات غير شاملة وغير كافية.	١٠	
منهجية البحث	علمية، ومناسبة لمشكلة البحث مراجعة شاملة للدراسات السابقة، توثيق ممتاز، اقتباس قليل جدا، استخدام للكمبيوتر في تحليل البيانات وتنمي المهارات البحثية للطالب بشكل ممتاز	مناسبة لمشكلة البحث مراجعة للدراسات السابقة، توثيق جيد ، اقتباس قليل ، استخدام للكمبيوتر في تحليل البيانات وتنمي المهارات البحثية للطالب بشكل جيد	غير مناسبة لمشكلة البحث مراجعة غير وافية للدراسات السابقة ، اقتباس كثير	٢٠	

العنصر	مستوى الأداء			الوزن	المعدل
	٣	٢	١		
النتائج	علمية، ودقيقة، ومرتبطة بالفرضية ارتباطا قويا، وتؤدي منهجية البحث اليها.	علمية، وتؤدي منهجية البحث اليها.	غيرعلمية، وغيرمرتبطة بالفرضية	١٠	
المصادر والمراجع	شاملة، وحديثة، وعربيه وانجليزيه، ومرتبطة بموضع البحث، ومكتوبة وفق الأصول المرعية	عربية ومرتبطة بموضع البحث، ومكتوبة وفق الأصول المرعية	ارتباطها بمشكلة البحث ضعيف، لم تراعى في كتابتها الأصول	٥	
تنظيم البحث	جميع عناصر البحث متوفرة، ومتسلسلة حسب الأصول. اللغة سهلة وواضحة وسليمة وخالية من التكرار. الرسومات البيانية والجداول الإحصائية مستخدمة.	جميع عناصر البحث متوفرة، ومتسلسلة حسب الأصول. اللغة سهلة وواضحة وسليمة وخالية من الكرار. الرسومات البيانية والجداول الإحصائية مستخدمة.	جميع عناصر البحث متوفرة، ومتسلسلة حسب الأصول. ولكن يوجد بالبحث اقتباس كثير	١٠	

استبانة منتصف المساق

عزيزي الطالب/ الطالبة

القصد من هذه الاستبانة هو المساعدة في تنظيم الجزء الثاني من هذا المساق بشكل أفضل، ولا شك أن هذا يعتمد إلى حد كبير على دقة إجاباتك وصدقها. فالرجاء أن تكون صريحا وصادقا في إجاباتك، وليس مطلوبا منك أن تكتب أسمك على الاستبانة إلا إذا كنت راغبا في ذلك ، وكن على ثقة بأنه سيتم التعامل مع هذه الورقة بسرية تامة .

معلومات شخصية

اسم الطالب:..........اسم المساق: ....اسم عضو هيئة التدريس ....

المحتوى العلمي وطرق التدريس في المساق :

	وافق بشدة	وافق	رأي لي	أوافق	أوافق بشدة
١. النصف الأول من هذا المساق كان بمستوى ما توقعته منه					
٢. تعلمت في النصف الأول من هذا المساق مهارات جديدة					
٣. المحتوى العلمى للمساق مناسب					
٤. طريقة التدريس في هذا المساق غير تقليدية					
٥. يعطى طلبة المساق فرصا كافية لطرح آرائهم ومناقشة مدرس المساق					
٦. يعطى طلبة المساق فرصا كافية لمناقشة زملائهم					
٧. يركز المساق على تدريب الطلبة على اكتساب المعرفة بأنفسهم					

	وافق بشدة	وافق	رأي لي	أوافق	أوافق بشدة
٨. التكليفات في هذا المساق من نوع جديد					
٩. التكليفات في هذا المساق تتطلب مهارات معينة					

أجب على كل من الأسئلة التالية باختصار شديد :

- أكثر ما يعجبني في هذا المساق هو:

....

- أكثر ما لا يعجبني في هذا المساق هو:

....

- سؤال لم يُسأل في هذا الاستبيان وكنت أود أن يكون موجودا وهو :

....

- ملاحظات إضافية تود أن تدلي بها:

....

جدول (٤)ضغط بخار الماء الإشباعي (ميلليبار)

ضغط بخار الماء الإشباعي										
درجة الحرارة	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
٠	٦	٧	٧	٨	٨	٩	١٩	١١	١١	١١
١٠	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨	١٩	٢١	٢٢
٢٠	٢٣	٢٥	٢٦	٢٨	٣٠	٣٢	٣٤	٣٦	٣٨	٤٠
٣٠	٤٢	٤٥	٤٨	٥٠	٥٣	٥٦	٥٩	٦٣	٦٦	٧٠
٤٠	٧٤	٧٨	٨٢	٨٦	٩١	٩٦	١٠١	١٠٦	١١٢	١١٧

جدول (٥) الرطوبة النوعية الإشباعية على مستوى ١٠٠٠ ميللibار (غم/كغم)

درجة الحرارة (م)	الرطوبة النوعية الإشباعية	درجة الحرارة (م)	الرطوبة النوعية الإشباعية
٠	٣,٨٠	٢٥	٢٠
٥	٥,٤٤	٣٠	٢٦,٩
١٠	٧,٦٧	٣٥	٣٥,٨
١٥	١٠,٧	٤٠	٤٧,٣
٢٠	١٤,٧		

جدول (٦) الرطوبة المطلقة الإشباعية

درجة الحرارة (م)	الرطوبة المطلقة الإشباعية	درجة الحرارة (م)	الرطوبة المطلقة الإشباعية	درجة الحرارة (م)	الرطوبة المطلقة الإشباعية
٠	٤,٨٥	١٨	١٥,٣٧	٣٦	٤١,٨
٢	٥,٥٦	٢٠	١٧,٣١	٣٨	٤٦,٣
٤	٦,٣٧	٢٢	١٩,٤٠	٤٠	٥١,١
٦	٧,٢٧	٢٤	٢١,٨	٤٢	٥٦,٦
٨	٨,٢٩	٢٦	٢٧,٣	٤٤	٦٢,٥
١٠	١٠,٦٨	٢٨		٤٦	٦٨,٨
١٢	١٢,٠٩	٣٠	٣٠,٤	٤٨	٧٥,٦
١٤	١٣,٦٥	٣٢	٣٣,٨	٥٠	٨٣,١
١٦		٣٤	٣٧,٦		

المراجع

المراجع العربية

- دلال زريقات، ١٩٩٥، الضباب في مطار الملكة علياء الدولي رسالة ماجستير غير منشورة قسم الجغرافيا الجامعة الأردنية، عمان.
- حسين بهاء الدين، ١٩٩٧، التعليم العربي لا يخرج المبدعين، دار المعارف، القاهرة.
- رابح الجهني، ١٩٩٤، العواصف الثلجية في المرتفعات الجبلية الأردنية، رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة الأرنية، عمان، الأردن.
- سناء أبو دقة، التقويم وعلاقته بتحسين نوعية التعليم في برامج التعليم العالي، ورقة علمية أعدت لمؤتمر النوعية في التعليم الجامعي الفلسطيني الذي عقده برنامج التربية ودائرة ضبط النوعية في جامعة القدس المفتوحة في مدينة رام الله في الفترة ٣-٥ تموز ٢٠٠٤.
- عمر زكري وآخرون، ١٩٩١، التأهيل التربوي للمدرس الجامعي، مجلة اتحاد الجامعات العربية، ٢٦، ٩٧-١١١.
- كامل ظاهر، ١٩٩٣، البرد في منطقة المرتفعات الجبلية من الأردن(رسالة ماجستير غير منشورة الجامعة الأردنية،عمان .
- محمود المناصرة، ١٩٨٥، الجزيرة الحرارية لمدينة عمان، رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.
- نعمان شحادة،٢٠٠٦ ،التقويم وضمان الجودة في التعليم الجامعي، جامعة الإمارات العربية المتحدة، العين.
- ــــــــــ، الأساليب الكمية في الجغرافية باستخدام الحاسوب، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان، ١٩٩٧.

- ـــــــ، مناخ الأردن، دار البشير، عمان، ١٩٩٠.
- ـــــــ، ١٩٩٠، موجات الحر التي يتعرض لها الأردن في الصيف، النشـرة الدوريـة لقسم الجغرافيا، جامعة الكويت.
- ـــــــ، وحسن أبو سمور، ١٩٩٠، تقييم بعض الآثار البيئية للعاصفة الثلجية الـتي تعرض لها الأردن يومي٢٣ و ٢/٢٤ /١٩٨٨، مجلة جامعة دمشق.
- ـــــــ، ١٩٨٥، التقلبات قصيرة المدة لدرجة الحـرارة الفعالـة في مدينـة الشـارقة، دراسات، ١٤، ١، ١٠١- ١٣١.
- ـــــــــــــــ، المناخ العملي، مطبعة النور النموذجية، ١٩٨٣.
- يسرى الحسبان، ١٩٩٦، الصقيع في منطقة الأغوار الشمالية وآثاره التدميريـة علـى الزراعة، رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.

المراجع الإنجليزية

- Aquado, E., Burt, J., 2006, Understanding Weather and Climate, Pearson Education, 4th edition, London. U.K.

- Barr, R. B. & Tagg, J. ,1995,. From teaching to learning--a new paradigm for undergraduate education. Change Magazine, 27 (6): 12-25

- Boggs, G. R., 1999, " What the Learning Paradigm Means for Faculty" AAHE Bulletin, 51,3-5.

- __________.,1998 " Accepting Responsibility for Student Learning" Horizon, 6 (1,1,5-6).

- Cotton, W. R., 2006, Human Impacts on Weather and Climate, 2nd edition, Cambridge University Press, U.K.

- Dayan u.,& Abramski, R.,1983, Heavy Rain In The Middle East Related To Unusual Jet Stream Properties, Bulletin, American Meteorological Society,64, 10, 1138-1141

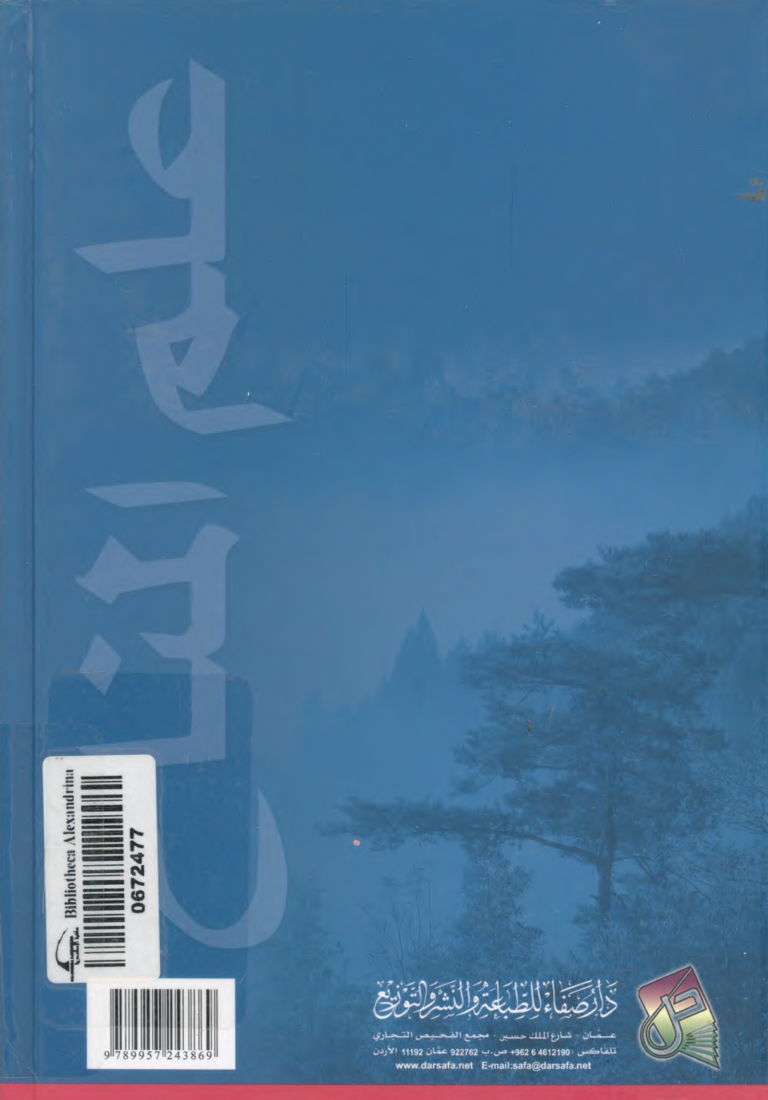
- Goult, J., 2001, An Outcomes Oriented Approach to Calculus Instruction, Journal of Engineering.

- Goult, J., 2001, An Outcomes Oriented Approach to Calculus Instruction, Journal of Engineering Education, pp. 203- 206.

- Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2001: The Scientific Basis, UNEP & WMO Publication, 2001.

- Liou, K. N., 1967, On the absorption, reflection, and transmission of solar radiation in cloudy atmospheres, Journal of Atmospheric Sciences, 33, 798 - 805.

- Moran.M.J., & Morgan,M.D.: Meteorology (Burgess Publishing , 1986, p.5)
- Monteith, J. K., 1962, Attention of Solar radiation : A Climatological Study, Quartly Journal of the Royal Meteorological Society. 88, 508 - 521.
- Shehadeh,N.,1993, Impact Of The Heat Island Upon Hail Incidence In The Downtown City Of Amman ."WMO & WHO , 4th Conference On Air Pollution And The Destruction Of The Ozone Layer, Sofia, Bulgaria.
- Stonehenge & The American Museum of Natural History : Discovering the Weather (Stonehenge Press Inc., 1982 , p.8).
- O Banion, T.,1997, "A Learning College for the 21st Century", Community College Press, MD.
- U.S. Environmental Protection Agency, 2006, Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks, Washington, D.C, USA.
- Weisberg,J.S.: Meteorology (Houghton Mifflin Company , Boston , 2nd edition , 1981,p.3).
- William ,R.C., & Pielke , R.A.,: Human Impact on Weather and Climate (Cambridge University press, 1995
- World Bank, 2000, Higher Education in Developing Countries: Peril and Promise, World Bank Publication.
- Yolanda, T.M., 2001, "Scanning the Environment: AAHE President Reports on Trends in Higher Education" Change, V. 53, No.10, 7-9.


Bibliotheca Alexandrina
06724477
9789957243869
دار صفاء للطباعة والنشر والتوزيع
عمّان - شارع الملك حسين - مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس: 4612190 6 962+ ص.ب 922762 عمّان 11192 الأردن
www.darsafa.net E-mail:safa@darsafa.net